

Univerzita Karlova v Praze

Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geotechnologie



Petr Vorlíček

Vrtné technologie v hydrogeologickém průzkumu

Drilling technologies in hydrogeological survey

Typ závěrečné práce

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Josef Vojtěch Datel, Ph.D.

Praha 2014

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 18. 8. 2014

Podpis

OBSAH

ÚVOD	8
1 OBECNĚ O HYDROGEOLOGII	10
1.1 VODA NA ZEMI A PODZEMNÍ VODA	10
1.2 PROPUSTNOST.....	11
2 HYDROGEOLOGICKÉ VRTY A PRŮZKUM	12
2.1 TYPY HYDROGEOLOGICKÝCH VRTŮ	12
2.2 PRŮZKUMNÉ VRTY.....	13
2.3 ETAPY PRŮZKUMU	14
3 HISTORIE VRTÁNÍ.....	15
4 SPECIFIKA HG VRTŮ OPROTI PRŮZKUMNÝM VRTŮM V JINÝCH OBORECH	19
5 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI HORNIN	21
6 VRTNÁ TECHNIKA.....	23
6.1 VRTNÉ ZAŘÍZENÍ.....	23
6.1.1 Vrtná souprava	23
6.1.2 Vrtná kolona	25
6.2 REŽIM VRTÁNÍ	26
6.2.1 Přítlak na vrtný nástroj	26
6.2.2 Otáčky vrtného nástroje	27
6.2.3 Výplach	28
6.3 HLAVNÍ VRTNÉ TECHNOLOGIE	28
6.4 VRTÁNÍ ÚDEREM	29
6.4.1 Proces rozpojování horniny při vrtání úderem.....	30
6.4.2 Nárazové vrtání na laně (6.4.2)	31
6.4.2.1 Vrtná souprava a vrtná kolona pro nárazové vrtání na laně	32
6.4.3 Nárazové vrtání na tyči.....	33
6.4.4 Dláta	34
6.4.5 Příklepové vrtání.....	34
6.5 ROTAČNÍ VRTÁNÍ.....	35
6.5.1 Proces rozpojování horniny při rotačním způsobu vrtání	35
6.5.2 Vrtná kolona a souprava pro rotační vrtání	36
6.5.3 Rotační jádrové vrtání s přímým výplachem	37
6.5.3.1 Vrtání tvrdokovovými nástroji.....	38

6.5.3.2	Vrtání diamantovými nástroji.....	39
6.5.3.3	Diamantové vrtání dvojíým jádrovákem	42
6.5.3.4	Vrtání šrotovými korunkami na jádro.....	42
6.5.3.5	Jádrové vrtání s nepřímým výplachem.....	43
6.5.4	<i>Rotační vrtání na plnou čelbu</i>	43
6.5.4.1	Rotační valivé vrtání na plnou čelbu	45
6.5.4.2	Rotační vrtání na plnou čelbu s nepřímým výplachem.....	47
6.5.4.3	Dvoustěnné rotační vrtání s nepřímým výplachem.....	48
6.6	KOMBINOVANÉ ZPŮSOBY VRTÁNÍ	48
6.6.1	<i>Rotačně příklepové vrtání</i>	48
6.6.1.1	Rotačně příklepové vrtání vzduchovými ponornými kladivy	49
6.6.2	<i>Vibrační vrtání</i>	50
6.6.3	<i>Náběrové vrtání</i>	51
6.6.3.1	Šapa.....	52
6.6.3.2	Spirál	53
6.6.3.3	Talířový vrták.....	53
6.6.3.4	Štěrkovnice.....	53
6.6.3.5	Kalovka	53
6.6.3.6	Pístová kalovka	54
6.6.4	<i>Šnekové vrtání</i>	54
6.6.5	<i>Šnekové náběrové vrtání</i>	54
6.6.6	<i>Hloubení drapáky</i>	55
6.7	MODERNÍ VRTNÉ TECHNOLOGIE	56
6.7.1	<i>Ultrazvukové vrtání</i>	56
6.7.2	<i>Laserové vrtání</i>	56
6.7.3	<i>Tryskové vrtání</i>	57
6.7.4	<i>Plazmové vrtání</i>	57
7	VRTNÝ VÝPLACH	58
7.1	FUNKCE VRTNÉHO VÝPLACHU	59
7.2	TYPY VRTNÝCH VÝPLACHŮ	60
7.2.1	<i>Výplachy na vodní bázi</i>	61
7.2.1.1	Výplach čistou vodou	61
7.2.1.2	Jílovitý výplach	61
7.2.1.3	Aerovaný jílovitý výplach.....	61
7.2.1.4	Polymerový výplach	62
7.2.2	<i>Výplachy na vzduchové bázi</i>	62
7.3	ODSTRANĚNÍ VRTNÉHO VÝPLACHU.....	62

8	PREVENCE PŘED KONTAMINACÍ.....	64
9	ÚDAJE ZÍSKÁVANÉ Z VRTŮ	65
	9.1 ZÍSKÁNÍ HORNINOVÝCH VZORKŮ	65
	9.2 MĚŘENÍ HLADINY PODZEMNÍ VODY	65
	9.3 FYZIKÁLNÍ VYŠETŘOVÁNÍ VODY	66
	9.3.1 <i>Měření teploty</i>	66
	9.3.2 <i>Stanovení barvy a zákalu</i>	66
	9.3.3 <i>Zápach vody</i>	66
	9.4 ČERPACÍ ZKOUŠKA	67
10	DISKUSE A ZÁVĚR.....	69
11	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ	72

Abstrakt

Tato práce se zabývá vrtnými technologiemi používanými v hydrogeologii. Hlavním cílem práce je zmapovat typy vrtných technologií používaných při vrtání hydrogeologických vrtů, ale i moderních technologií, které by v hydrogeologickém průzkumu potencionálně mohly být v budoucnosti využívány. Dále je v práci shrnut postup vrtných procesů, historický vývoj vrtné techniky, data získávaná z hydrogeologických vrtů a typy používaných vrtných výplachů.

Abstract

This work deals with the drilling technologies used in hydrogeology. The main aim of the work is to explore types of drilling technologies used at hydrogeological drilling wells and modern technologies that could potentially be used in the future. The work also summarizes a historical development of drilling techniques, a drilling process procedure, information obtained from boreholes and the most common types of drilling fluids.

ÚVOD

Cílem této bakalářské práce je vytvořit přehled vrtných technologií používaných pro hydrogeologický průzkum a doplnit je o další užitečné informace, které s vrtným procesem a průzkumnou činností souvisí.

Při vrtání můžeme získávat více či méně kvalitní vzorky horninového materiálu, které nám pomohou objasnit geologii daného provrtávaného profilu. Po vyhotovení vrtu je možno z něj pomocí měření hladiny podzemní vody, čerpacích zkoušek a vyhodnocení kvality vody získat další informace, které slouží pro rozhodnutí o další využitelnosti takového vrtu. Dále se práce zaměřuje na obecný historický vývoj vrtné techniky a specifika hydrogeologických vrtů oproti vrtům v jiných oborech.

Tak jako jiná průmyslová odvětví, i vrtné technologie procházejí vývojem a objevují se nové trendy. Práce mapuje vývoj těchto moderních technologií a uvádí ty, které by mohly najít, případně už našly, uplatnění v hydrogeologickém průzkumu.

Práce má rešeršní charakter. Podkladem pro získávání údajů a informací je prostudování literárních pramenů českých i zahraničních autorů, internetové články a publikace, ale i patentová práce.

Při volbě tématu bylo stěžejní využití různých typů vrtných technologií, princip jejich práce a možnosti uplatnění. Každý hydrogeolog by měl mít elementární přehled o základní používané vrtné technice. Tato práce se snaží čtenáři tyto informace poskytnout a rozšířit tak jeho znalosti.

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat vedoucímu bakalářské práce RNDr. Josefovi Vojtěchovi Datlovi, Ph.D, za jeho trpělivost, cenné rady a konstruktivní připomínky, které přispěly ke zdárnému dokončení této práce.

1 OBECNĚ O HYDROGEOLOGII

Hydrogeologie je vědní obor zabývající se původem, výskytem, pohybem, ochranou, využitím, fyzikálními a chemickými vlastnostmi podzemní vody.[1]

Vznik podzemních zásob vody je nejvíce vázán na atmosférické srážky, podíl juvenilní vody je zanedbatelný. Při hledání akumulované vody v podzemí je nutné pochopit cesty, kterými se voda vsakuje a zároveň také znát místo, kde se odvodňuje.

1.1 Voda na zemi a podzemní voda

Voda na zemi je nepostradatelný a cenný zdroj. Bez vody by nemohl existovat život. Veškerá voda na Zemi je neustále migrována vlivem přirozeného koloběhu. Tento koloběh obsahuje srážky, výpar, infiltraci, povrchový a podzemní odtok. Největší objem vody je akumulován v oceánech a mořích, dohromady tyto dva zdroje obsahují přesně 97,77% veškeré vody na Zemi. Zbytek zásob je rozdělen mezi vnitrozemské ledovce, řeky, jezera, podzemní vodu atd. Z celkového objemu vody na Zemi tvoří zásoby té podzemní jen asi 0,54% [2, str. 1; 3].

Zásoby podzemní vody se rozdělují na statické a dynamické. „Statické zásoby jsou dány objemem vody obsažené v horninách, dynamické zásoby jsou dány podzemním odtokem.“[2, str. 2]

1.2 Propustnost

Dobrá propustnost je předpokladem pro infiltraci vody do podzemí a jejího pohybu v rámci horninového prostředí. Aby mohla hornina akumulovat vodu a stát se tak kolektorem, je nutné, aby obsahovala množství volných prostor (pórů), kde se tato voda bude akumulovat. Podle toho jak voda postupuje horninami, rozlišujeme 3 základní typy propustnosti: průlinovou, puklinovou a krasovou. [2]

Průlinová propustnost je typická pro zpevněné a nezpevněné sedimenty, kde může voda volně proudit mezi jednotlivými zrny. Puklinová propustnost umožňuje vodě proudit různě velkými puklinami a je typická pro skalní horniny. Krasová propustnost se objevuje u snadno rozpustných hornin v krasových oblastech. [2]

Voda prosakuje do podzemí přes propustné vrstvy vlivem gravitace. V místě, kde je horninová vrstva s vlastností izolátoru, dochází k akumulaci vody. Pokud je voda omezena izolátorem shora i zdola, pak se vytváří tzv. napjatá zvědeň.

Propustnost hornin lze snadno charakterizovat pomocí koeficientu hydraulické vodivosti K a koeficientu propustnosti k . Koeficient propustnosti nám značí, s jakou snadností horninovým prostředím protéká obecně jakákoli kapalina, zatímco koeficient hydraulické vodivosti je schopnost horniny propouštět vodu. [2]

2 HYDROGEOLOGICKÉ VRTY A PRŮZKUM

„Hydrogeologické vrty jsou nejrozšířenějším prostředkem jímání podzemních vod.“[4, str. 336]. Hlavním úkolem hydrogeologických vrtů je navrtání zvodněné vrstvy a její následné čerpání za účelem zdroje pitné vody, zjišťování vlastností kapalin a vlastností kolektorových vrstev, ověření jímacích podmínek, pozorování vývoje hladiny a sledování jejího pohybu, odběr vzorků hornin a vody pro laboratorní vyhodnocení, geologická dokumentace a další. Vrtáním se lze dostat ke zdrojům pitné vody z opravdu velkých hloubek, kterých bychom jiným způsobem nebyli schopni dosáhnout.

2.1 Typy hydrogeologických vrtů

Hydrogeologické vrty lze rozdělit do několika základních skupin podle různých kritérií. Podle účelu lze hydrogeologické vrty rozdělit do čtyř základních kategorií. Jsou to vrty pozorovací, průzkumné, výzkumné a provozní, přičemž provozní vrty lze rozdělit ještě do dvou dalších skupin, a to vrtů jímacích a odvodňovacích. [5]

Jímací vrt slouží jako zdroj užitkové a pitné vody a v naprosto ideálním případě poskytuje potřebné množství vody při co nejmenším snížení hladiny podzemní vody. V reálných podmínkách je tento stav jen obtížně dosažitelný, ale cílem každého vrtu a hydrogeologa je se k nim co nejvíce přiblížit. [4]

Odvodňovací vrty nacházejí své uplatnění při stavebních pracích, kdy je potřeba odvést vodu ze stavebních jam, dále pak při odvodňování důlních děl, popřípadě svahů, které hrozí nebezpečím sesuvu. [6,5]

Cílem pozorovacích vrtů je zjišťování režimu podzemních vod, jako je rychlost proudění, růst a pokles hladiny. [6]

Průzkumné vrty mají široké využití. Používají se pro průzkum podzemních vod při inženýrsko-geologickém průzkumu, průzkumu ložisek,

zjišťování hydrogeologických charakteristik zkoumaného prostředí a průzkumu vodních zdrojů obecně. [6]

Výzkumné vrty mají za cíl zjistit hydrogeologické poměry daného území a výskyt zvodněných poloh. [5]

Dalším významným kritériem pro rozdělení hydrogeologických vrtů je jejich hloubka, můžeme definovat tři základní kategorie. První kategorií jsou vrty s hloubkou do 500 m, která je dostačující pro využívání obyčejných podzemních vod. V České republice jsou běžné hloubky hydrogeologických vrtů 100 až 200 m. Druhou kategorií jsou vrty do 1200 m uplatňující se při průzkumu minerálních a termálních vod. Poslední kategorií jsou vrty hlubší než 1200 m, které slouží ke stejnému účelu jako předchozí skupina, avšak je nutná složitější konstrukce a jde většinou o vrty výzkumného charakteru. [6]

2.2 Průzkumné vrty

Průzkumné vrty jsou jedinou možností, jak si skutečně ověřit naše předpoklady vytvořené ze zpracování již existujících okolních vrtů a povrchových měření (geofyzikální metody, povrchové mapování atd.). Bez průzkumných vrtných prací se neobejde žádná podrobnější geologická činnost. „Ve skupině průzkumných vrtů rozeznáváme ještě specializované vrty, např. vrty ložiskové (určené k průzkumu ložisek uhlí, rud, ropy, plynů apod.), vrty hydrogeologické (k vyšetření hydrogeologických podmínek), vrty základové (k zjištění únosnosti základové půdy pod projektovanou stavbou), vrty strukturní, vrty sledné, vrty orientační atd.“ [7 str. 14]

Cílem hydrogeologických průzkumných vrtů je získat kvalitní informace o výskytu podzemních vod, jejich oběhu, výskytu minerálních vod, zjistit informace o těchto vodách a dále je zpracovat a interpretovat. Dále se využívají při zjišťování znečištění a zajišťování sanačních prací, v inženýrské, důlní a naftové hydrogeologii.

2.3 Etapy průzkumu

Etapovitost prací je velmi důležitá pro maximální ekonomickou efektivnost a kvalitu provedených prací. Podle Sargy a Letka (1983) lze etapy hydrogeologického průzkumu rozdělit do pěti skupin:

- 1) Vyhledávací průzkum – jeho účelem je kvantitativní a kvalitní ocenění zásob podzemních vod. Opírá se zejména o geofyzikální měření, sledování režimu a čerpací zkoušky.
- 2) Předběžný průzkum – posuzuje realizovatelnost vrtu v daném prostředí a podmínkách. Využívá již získané poznatky a maximálně se je snaží doplnit hydrologickým studiem, hydrogeologickým mapováním a klimatickými poznatky z dané oblasti.
- 3) Podrobný průzkum – hlavní je v tomto případě detailní hydrogeologické mapování, geofyzikální měření a laboratorní zkoušky.
- 4) Doplnkový průzkum – vychází z potřeby dalšího podrobného průzkumu, zejména pokud se vyskytnou nejasnosti.
- 5) Hydrogeologické sledování – využívá se hlavně při stavebních a báňských pracích, kdy je třeba kontrolovat hydrogeologické poměry z hlediska bezpečnosti daného díla.

3 HISTORIE VRTÁNÍ

Provádění vrtných prací je spojeno s lidstvem již od počátku jeho vzniku. Vrtání vždy bylo, je a bude spojeno s cílem přinést užitek různého charakteru. „Není to již pouze vyhledávání nerostných surovin, ale předvídání přírodních událostí ovlivňujících lidstvo a předvídání důsledků lidské činnosti na vývoj Země s cílem chránit neživou a tím i živou přírodu a využívat dary přírody tak, aby bylo uchováno přírodní bohatství.“[8, str. 9] Již v dávné historii se lidé snažili v různých hloubkách pod povrchem nacházet nástroje, které potřebovali k lovu a přežití, například pazourky, později pak objevovali velmi cennou vodu, kovy a uhlí. Přístup k pitné vodě vždy byl, je a bude životně důležitý. [8]

U prvních vrtů je namísto spíše hovořit o otvorech. V dobách, kdy naši předci měli k dispozici jen primitivní nástroje, bylo pro ně velmi složité dostat se například ke zdrojům podzemní pitné vody. Přesto to dokázali například pomocí ostrých oštěpů, kterými propichovali nezpevněné propustné horniny a z nich potom vodu odsávali stébly trávy. „Toto jednoduché hloubení „vrtů“ popsali někteří cestovatelé z jižní Afriky, z Austrálie a z Jižní Ameriky.“[8, str. 12]. Rozvoj prvních studní nastal v oblastech, kde nebyl přístup k povrchové vodě, tedy hlavně v oblastech pouští, kdy se hloubil otvor do písku do té doby, než se narazilo na vodu. [8]

Nejstarší zmínky o vrtných technologiích pocházejí ze staré Číny, kde běžně používali k získávání pitné vody nárazové vrtání na laně. První dochované zmínky o tomto způsobu jsou staré přes 4000 let. V té době se nejednalo o vrtání na laně, jak jej známe dnes, ale základem konstrukce vrtné věže byly bambusové tyče, na kterých bylo zavěšeno lano s dlátem na konci. Pohon takového zařízení byl samozřejmě ruční. Dokonalost technologie, jaké v té době byli schopni, je neuvěřitelná, neboť jejich vrty byly dokonce i paženy za pomoci bambusových tyčí. Staří Číňané takto byli schopni dosáhnout hloubek až 915 m, i když proces vrtání takto hlubokých vrtů často trval dvě až tři generace. Z těchto končin jsou také známy první vrty na solanku a později,

kolem začátku našeho letopočtu také na ropu a zemní plyn. Vrt na solanku se ponechával otevřený a vlivem odparu v něm zůstávala sůl, jež v té době byla tak důležitou surovinou. Ropa a zemní plyn našly široké využití od topení a svícení až po bitevní zbraně. Úrovně, které stará Čína dosahovala již na přelomu letopočtu, se podařilo Evropě dosáhnout až o mnoho století později. To, jak se znalost vrtných technologií šířila z Číny do okolního světa, není zcela známo. [8, 9]

Kolem velkých Evropských měst byla v minulosti nalezena spousta vrtů na vodu. Přirozeně nejjednodušší pro lidi bylo, když vodu vůbec nemuseli čerpat, ale sama jim vytékala či tryskala na povrch. Tyto tzv. artéské studny byly poprvé vyvrtány ve Francii u města Artois. [8]

Pravděpodobně první učebnice vrtání s názvem: „Popis, jak je nutno založit nový vrt“, jejíž autor není znám, pochází z Novgorodu a byla sepsána v 16. století. Z 15. století se dochovaly návrhy na zeměvrtné náčiní od známé renesanční osobnosti Leonarda da Vinci. „Nejstarší zobrazení vrtaře studní v Evropě je v mnichovském obrázkovém rukopise Giovanni Fontana z roku 1420, který nese název *Bellicorum instrumentorum liber* (Kniha přístrojů pro vedení válek). Z roku 1430 je známo vyobrazení vrtaře při hloubení jámy (studny) z obdobného díla.“[8, str. 13]

Hloubky vrtů zpočátku nebyly velké, protože hluboké vrty nebyly k dosažení podzemní vody potřeba, a tak se běžně dosahovalo hloubek kolem 200 až 300 metrů a to až do poloviny osmnáctého století. Vrtání do takových hloubek trvalo v řádu několika měsíců, vše se odvíjelo od typu horniny, ve které se vrtalo. Teprve s potřebou čerpat ropu a zemní plyn došlo k masivnímu rozvoji vrtné techniky a tím i dosahovaných hloubek vrtů. V té době našlo uplatnění již velmi dlouho známé nárazové vrtání na laně, které pochází z dob staré Číny. K rozvoji této metody došlo na ropných polích Pensylvánie, odtud také dodnes používaný název pensylvánské vrtání. Takto se dalo dosáhnout hloubek až přes 2 kilometry. V Evropě byl tento systém využíván hlavně v Polsku a Rumunsku. Někdy se používaly místo lana tyče, které umožňovaly lépe kontrolovat polohu dláta na dně vrtu. K výrobě tyčí se používalo dřev, později kov. Soutyčí ale značně zvyšovalo hmotnost soupravy a tak hlavním

impulsem pro výrazný rozvoj vrtání na tyči bylo zavedení dutých tyčí v roce 1801, které umožnily odběr jádra a tak se tento způsob stal velice cenným a vyhledávaným pro geologický průzkum. [8]

V polovině 19. století se začalo využívat výplachu pro odvod rozvrtané horniny, což značně zvýšilo efektivitu vrtného procesu a se zdokonalováním výplachové tekutiny se tato efektivita dále zvyšovala. Významným rokem se stal rok 1859, kdy E. L. Drake zavedl používání parního stroje k pohonu vrtných souprav a tento rok je také někdy označován jako počátek hlubinného vrtání. Tento pokrok byl využíván hlavně při vrtání na ropu. Drakeův vrt, ze kterého byla prvně komerčně těžena ropa, měl hloubku 69 metrů. Tento počátek masivní těžby ropy umožnil výrobu produktů s tím souvisejících a rozvoj spalovacích motorů. S rozvojem spalovacích motorů rostla dále poptávka po vrtání na ropu a tím byl také umožněn další vývoj vrtné techniky, do kterého se mohly investovat nemalé finanční prostředky. Bylo třeba zrychlovat vrtný postup, aby bylo možné těžit čím dál větší množství ropy z většího počtu vrtů. Optimalizovaly se vrtné technologie, studovaly se tlaky vyvíjené na vrtné soutyčí a také technologie výplachu. Zpočátku se zvyšovala frekvence dopadu dláta na horninu (tzv. rychlorázové vrtání) a po roce 1900 přichází převratná technologie, kterou je rotační systém známý pod názvem Rotary. Díky své efektivitě a rychlosti systém Rotary postupně vytlačil pomalé nárazové vrtání a dnes se tímto způsobem vrtá přes 70% všech světových vrtů. S příchodem systému Rotary také nachází využití diamantové korunky, které zavedl již v roce 1857 Švýcar Leschot. S rostoucími hloubkami vrtů nastával problém s přenosem síly na tak velikou vzdálenost, a proto přišel nápad s převedením zdroje otáčení přímo na čelbu vrtu a tak vznikly turbíny poháněné výplachovou vodou (1923), později elektromotory (1940). Soutyčí v tomto případě slouží pouze k zapouštění a vytahování nářadí z vrtu a k regulaci tlaku. [10, 11, 8]

První vrt hluboký přes 1000 metrů byl uskutečněn roku 1871 v blízkosti Berlína. Hloubky 2 km bylo dosaženo poměrně v krátkém časovém horizontu v roce 1893. Největších hloubek je dosahováno při vrtání na ropu a zemní plyn, zatímco v hydrogeologických vrtech není takových hloubek potřeba.

V poslední době se také dosahuje značných hloubek při stavbě geotermálních elektráren. Dosud nejhlubším vrtem na světě je Kolský vrt na poloostrově Kola v Rusku, který dosáhl hloubky 12 261 m. V blízkosti českých hranic na území Německa je vrt KTB, jež byl dovrtný do hloubky 9 101m. V České republice je naprostá většina vrtů (více než 90%) realizována do hloubek 100 m, jedná se hlavně o vrty hydrogeologické a inženýrsko-geologické. V pánevních strukturách mohou mít hydrogeologické vrty až 1000 m. [8, 12,13]

4 SPECIFIKA HG VRTŮ OPROTI PRŮZKUMNÝM VRTŮM V JINÝCH OBORECH

Obecně se dají rozlišit dva základní typy vrtů. Jedná se o vrty hydrogeologického průzkumu a vrty ostatního geologického průzkumu, které byly popsány v kapitole průzkumné vrty. Pro každý typ průzkumu jsou typické různé technologické postupy a vždy nás zajímají jiná prioritní data s ohledem k danému oboru, i když některé zájmy poznání mohou být společné.

U hydrogeologického průzkumu je hlavním cílem zjistit veškeré parametry týkající se saturované zóny jako je výška hladiny podzemní vody, směr a rychlost proudění vody, chemické složení, mocnost kolektoru, počet kolektorů, monitoring jakosti podzemních vod a další široké využití se ve stále větší míře nabízí v řešení ekologických havárií, kde nás zajímá chemické složení kontaminantů nebo pohyb kontaminačního mraku. Bez vrtů by se také neobešla celá řada sanačních technologií, například airsparging, biosparging a bioremediace. [2, 14]

V ostatních geologických oborech je většinou hlavním zájmem prozkoumání horninového prostředí, tedy odběr vzorku daného geologického útvaru, napětíový stav daného masívu, rozsah geologického celku, vyhledávání ložisek nerostných surovin jako je uhlí, ropa a zemní plyn. Někdy se také měří teplota ve vrtu. Většinou je pro nás však i v těchto případech přítomnost vody důležitá, například pro volbu vrtné techniky, nebo v inženýrské geologii pro zakládání staveb. Stejně tak v hydrogeologii je pro nás důležité okolní horninové prostředí, zejména rozpukanost horninového masívu (pukliny umožňující proudění vody) a celková propustnost dané zóny. [7, 4]

Je celá řada parametrů, ve kterých je hydrogeologický vrt oproti ostatním vrtům specifický. Prvním je průměr vrtu. Obecně jsou průměry hydrogeologických vrtů větší zejména z důvodu jejich vystrojování, které se většinou v jiných vrtech nedělá. Dále je průměr důležitý pro zavádění čerpadel

pro odběr vzorků vody, případně pro delší čerpání a roli hraje také potřebný prostor pro akumulaci většího množství vody. [13]

Vrty pro hydrogeologické účely se musí většinou během vrtných prací z důvodu zabezpečení stability stěn a ochrany vnitřních zařízení pažit, zejména pokud se vrtá v nesoudržných horninách. Takovému pažení se říká pracovní. Jedná o svařované ocelové trubky takového průměru, aby jím vrtný nástroj bez problému prošel. Po vyhloubení vrtu následuje definitivní výstroj (pokud má být vrt dále využíván pro čerpání vody), nebo je vrt zlikvidován. Součástí definitivní výstroje je zárubnice, obsyp a těsnění. Jako materiál pro výrobu zárubnic dnes převládá plast. Podmínkou je děrovaná část zárubnice situovaná ve zvodněném prostředí, která se nazývá filtr. Filtr je velice důležitá část hydrogeologických vrtů. Jeho hlavním úkolem je umožnit co největší proudění vody do vrtu a zároveň zachytit maximální možné množství jemných pískovitých částic. Délka filtru je individuální a řídí se požadavky na čerpání a mocností kolektoru. [2]

Dalším specifikem vrtů na vodu je cementace. Tento krok se provádí pro izolaci jednotlivých kolektorových vrstev, má tedy těsnicí funkci a zároveň chrání pažnicovou kolonu před silovým působením horniny, průnikem výplachu a korozivním účinkem mineralizovaných zvodněných horizontů. V této těsnicí dominuje cementová složka s různými aditivami zlepšujícími vlastnosti, odtud pojem cementace. [2]

Poslední zvláštností hydrogeologických vrtů, zejména těch sloužících dlouhodobě je kvalitní filtrační obsyp v mezikruží stěn vrtu a zárubnice v úseku její perforace. Hlavním úkolem obsypu je ochrana vrtu před pískováním, ale zároveň nesmí bránit vtoku vody do vrtu. Platí pravidlo, že propustnost obsypu musí být větší než propustnost okolního prostředí. Jako materiál se používají hlavně písky a šterky se zrnitostí 1-10 mm, tloušťka obsypu je potom nejčastěji v rozmezí 2,5-10 cm. [2]

5 FYZIKÁLNÍ A MECHANICKÉ VLASTNOSTI HORNIN

„Stupeň obtížnosti vrtání hornin je dán především horninou samou, tj. okolnostmi, za jakých vznikla. Obtížnost rozpojování horniny určují převážně fyzikálně mechanické vlastnosti, jako je tvrdost horniny, její soudržnost a pevnost, a další vlastnosti – např. struktura a textura, stupeň zvětrání, vrstevnatost a puklinatost.“ [15, str. 21] Nejdůležitější vlastnosti jsou:

- 1) Měrná hmotnost – jedná se o hmotnost vysušené horniny bez pórů a dutin. Pro laboratorní stanovení tedy musí být vzorek rozdrcen.
- 2) Objemová hmotnost – hmotnost jednotky objemu horniny včetně objemu pórů a dutin.
- 3) Pórovitost – poměr objemu pórů a celkového objemu vzorku.
- 4) Pevnost vtláčná – odpor proti vtláčení neboli rozrušování. Závisí hlavně na petrografickém složení horniny. Metodika stanovení je velice podobná s určováním tvrdosti horniny.
- 5) Pevnost v prostém tahu - jedná se o maximální dosažené napětí při porušení jednoose tahově zatěžovaného válcového vzorku horniny.
- 6) Tvrdost – odpor kladený horninou proti vnikání tělesa. Vzhledem k nehomogenitě hornin je určení tvrdosti obtížné.
- 7) Abrazivnost – je schopnost horniny obrušovat vrtný nástroj.
- 8) Štěpnost – posuzuje se podle snadnosti odštěpení horniny při úderu.
- 9) Rozpojitelnost – při vrtání se hovoří o vrtatelnosti. Úzce souvisí se štěpností, neboť štěpnost je základním parametrem pro posuzování rozpojitelnosti. „Vrtatelnost hornin bývá zvykem vyjadřovat prostřednictvím mechanické rychlosti vrtání, která je však funkčně závislá na mechanických vlastnostech horniny, způsobu vrtání, konstrukci vrtného nástroje a režimu vrtání (měrný přítlak, počet otáček, očišťování dna vrtu).“ [16, str. 12] Při různých režimech vrtného procesu či způsobu vrtání může hornina vykazovat jinou

vrtatelnost. Klasifikační stupnice vrtatelnosti hornin jsou rozdílné pro maloprofilové vrty, rotačně příklepné vrtání a jádrové vrtání.

- 10) Puklinatost – je míra rozpukání horninového masívu. Pro vrtání je důležitý směr puklin. U vertikálních puklin hrozí zaseknutí vrtného nástroje, zejména plochého dláta. [15,16,13]

Fyzikálně mechanické vlastnosti horniny se většinou stanovují na vzorcích v laboratoři a na jejich výsledku často může záviset volba příslušné vrtné technologie a vrtné soupravy.

6 VRTNÁ TECHNIKA

Vrt je válcovitý otvor hloubený pomocí různých druhů vrtných nástrojů. Délka vrtu je vždy delší než jeho šířka. Rychlost vrtání se odvíjí od zvoleného vrtného nástroje, výkonnostních parametrů vrtné soupravy a také podle charakteru litologického složení daného území. Ne vždy je ovšem možné zvolit optimální kombinaci pro dané území, zejména z důvodů ekonomických, prostorových a terénních. Obvykle platí pravidlo, že čím je vrt větší, tím je potřeba větší prostor pro manipulaci s vrtnou technikou a pomocnými zařízeními. [13]

6.1 Vrtné zařízení

Kompletní souhrn všech nástrojů a zařízení schopných vybudovat vrt se označuje jako vrtné zařízení. To lze dále rozdělit na vrtnou soupravu a vrtnou kolonu.

6.1.1 Vrtná souprava

Vrtná souprava je část zařízení kolem ústí vrtu a skládá se z několika základních komponent. Základem je motor pro pohon vrtného soutyčí. Motor může být buď elektrický, nebo spalovací. Každý typ pohonu má své nevýhody. Mezi hlavní nevýhody spalovacího motoru oproti elektrickému patří malá přetížitelnost, dosažení požadovaného točivého momentu jen při daných otáčkách, problém s obrácením chodu motoru a zvláště v nepříznivých klimatických podmínkách spouštění motoru. Vhodnější pro vrtné soupravy je použít motor elektrický, nicméně většina světových souprav používá spalovací motor, zejména z důvodu nedostupnosti elektrické energie v místě realizace.[17]

Další součástí je těžní zařízení, jehož hlavní funkcí je zapouštění a zvedání pažnicové kolony ve vrtu. Součástí těžního zařízení je vrtný vrátek

sloužící k odvíjení těžního lana, kladkostrojový systém a vrtná věž (viz obr. 1). Počet a velikost kladek v kladkostrojovém systému je individuální. Těžní lano má obvykle průměr 12-36 mm, je vyrobeno z oceli a jsou kladeny vysoké nároky na jeho kvalitu a údržbu. Vrtná věž slouží jako základní opěrný element celé vrtné soupravy a lze se setkat s více typy provedení. Dříve se používaly jednoduché dřevěné trojnožky, zatímco dnes jsou základem ocelové konstrukce. Věž může být teleskopicky výsuvná, sklopná anebo stabilní montovaná přímo na místě. [17, 14]

Obr. 1: Vrtná věž [17]



Velmi důležité je vrtací zařízení, které je spjato s použitou technologií vrtání. Jedná se tedy například o vahadlo pro zvedání a padání dláta v případě nárazového vrtání nebo o rotační stůl či hlavu při použití vrtání rotačního. [14]

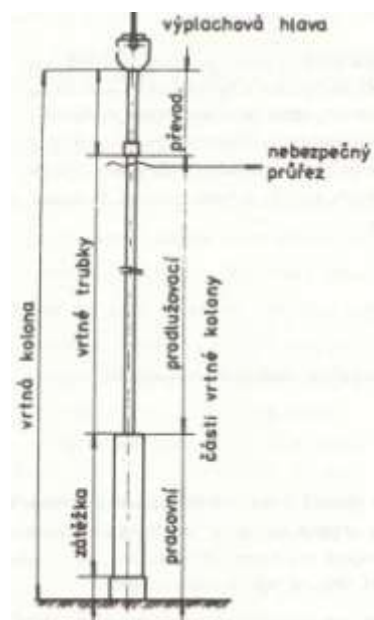
Nezbytnou součástí vrtné soupravy je výplachové zařízení, které zajišťuje cirkulaci výplachové tekutiny při hloubení vrtu. Základem je čerpadlo nebo kompresor, sací potrubí a míchací nádoba. Při některých způsobech vrtání ovšem výplach vůbec nemusí být použit. [14]

Vrtná souprava může být umístěna na motorizovaném nebo nemotorizovaném podvozku. V případě motorizovaného podvozku se jedná o nákladní automobil nebo samostatný pásový podvozek. Nemotorizovaným podvozkem je přívěs za nákladní automobil. [13]

6.1.2 Vrtná kolona

Jako vrtná kolona se označuje část zařízení umístěná přímo ve vrtu. Hlavním úkolem vrtné kolony je přenos energie od zdroje na čelbu vrtu, kde probíhá vlastní vrtný proces. Dále slouží k přívodu výplachové tekutiny na čelbu vrtu, vytváření přitlaku na nástroj a také ke směrovému vedení vrtného nástroje. Pro případ obecně nejpoužívanějšího rotačního vrtání lze vrtnou kolonu rozdělit na tři základní části dle jejich funkce (viz obr. 2). První část je převodová, která je tvořena tzv. unašečkou a slouží k převodu kroutícího momentu z rotačního stolu na vrtnou kolonu. Po převodové části následuje část prodlužovací, jejímž úkolem je přenos rotačního pohybu od unašečky k pracovní části a přívod výplachové kapaliny. Poslední část je pracovní a její podstatou je vyvíjet přitlak na vrtný nástroj pomocí zátěжки, udržovat vrtný nástroj v ose vrtu prostřednictvím stabilizátoru a další. Všechny tři části jsou spojeny pomocí spojovacích prvků, např. spojka, spojník a vsuvka. Pro ostatní vrtné technologie, jako je např. nárazové vrtání, je vrtná kolona jednodušší. [17]

Obr. 2: Rozdělení vrtné kolony na tři základní části [17]



Vrtná kolona je ve vrtu velmi namáhána. Nejvíce namáhanou částí jsou vrtné trubky, a proto je nutné znát alespoň přibližně pracovní podmínky ve

vrtné. Jedná se vlastně o velmi dlouhý hřídel s mimořádně malým poměrem průměru k délce. Namáhání lze rozdělit do několika typů. Tahové namáhání je výsledkem vlastní tíhy vrtného soustavy a vrtného nářadí. Maximum tahového napětí je vždy nad ústím vrtu. Tlakové namáhání se projevuje ve spodní části kolony, pokud se tíha kolony používá k vytváření přitlaku na vrtný nástroj. Krutové namáhání je způsobeno přenosem otáček od rotačního stolu k vrtnému nástroji a je tím větší, čím je vrt delší, výplach viskóznější, otáčky rychlejší atd. Při zaseknutí vrtného nástroje může dojít vlivem krutového namáhání až k ukroucení vrtné trubky. Ohybové namáhání je způsobeno odstředivými silami nebo stlačením spodní části vrtu a vede k vibracím a tření o stěnu vrtu. Výsledkem různých typů namáhání jsou deformace vrtné kolony do tvaru spirály, a proto u hlubších vrtů nelze počítat dosaženou hloubku vrtu podle délky spotřebovaných vrtných tyčí. [17, 14]

6.2 Režim vrtání

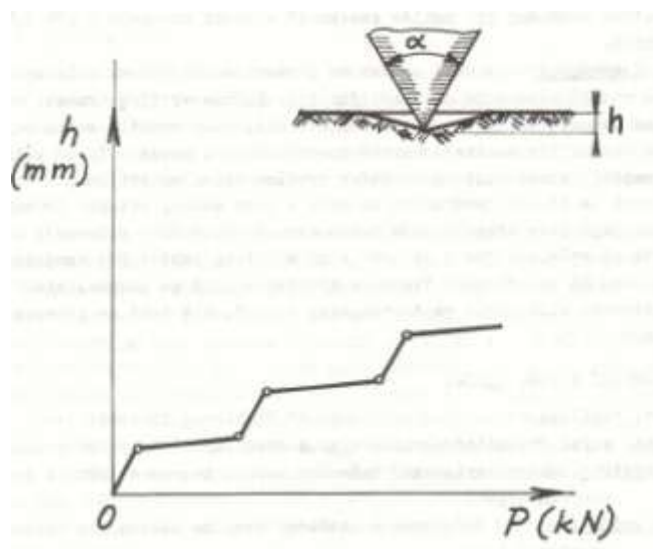
„Režim vrtání je soubor technologických činitelů, jimiž provádíme řízení a regulaci výkonových parametrů vrtných nástrojů při rozpojování hornin.“ [17 str. 53] Rozlišujeme tři základní složky režimu vrtání. První je přitlak na vrtný nástroj udávaný v jednotce kN, další jsou otáčky vrtného nástroje v otáčkách za minutu a poslední složkou jsou parametry výplachu, jako je tlak v MPa, rychlost průtoku cm/min, množství v litrech za minutu a kvalitativní parametry výplachu. Cílem je zkombinovat všechny tyto parametry tak, abychom byli schopni dosahovat co nejefektivnějšího vrtného procesu. [14]

6.2.1 Přitlak na vrtný nástroj

Přitlak je síla, kterou je vrtný nástroj přitlačován na horninu na čelbě vrtu. Přitlak může být stálý, kmitavý, příklepný a nárazový. Velikost přitlaku rozhoduje o hloubce vniknutí vrtného nástroje do horniny (viz obr. 3), je tedy

základním parametrem vrtné technologie. K rozrušení horniny dojde v případě, kdy je přítlak dostatečně veliký na to, aby došlo k překročení pevnosti horniny. [14]

Obr. 3: Graf závislosti hloubky h vniknutí břitu do horniny na přítlaku P [14]



Základní vlastností stálého přítlaku je jeho časová neměnnost. Je dán tíhou samotné vrtné kolony a lze ho zvětšit zátěžkami nebo hydraulicky. Kmitavý přítlak je kombinací stálého přítlaku doplněného o velice rychle vyvolávané vibrační rázy vibračního zařízení. Díky rychlým přechodům mezi přitížením a odlehčením je tento typ velmi účinný. Při použití příklepného přítlaku je proces velmi podobný jako u kmitavého, ale nedochází k odlehčování, tudíž se stálý přítlak neustále zvyšuje. Posledním typem je přítlak nárazový typický pro nárazové způsoby vrtání. V tomto případě se přítlak mění od nuly až do svého maxima a frekvence úderu je nižší. [14]

6.2.2 Otáčky vrtného nástroje

Otáčky spolu s poloměrem nástroje definují tzv. řeznou rychlost břitu. Čím vyšší je rychlost otáčení vrtného nástroje, tím kratší je čas působení nástroje na horninu a dosažená hloubka průniku na jednu otáčku klesá. Rozlišujeme otáčky v záběru, mimo záběr, samovolné otáčky a v některých

případech se při vrtání otáček nevyužívá (např. vibrační vrtání). Při otáčkách v záběru dochází k otáčení vrtného nástroje při jeho současném přitlačování na horninu. Pokud se nástroj otáčí v mezidobí, kdy není přitlačován na horninu, hovoříme o otáčkách mimo záběr. Při samovolných otáčkách není otáčení vrtného nástroje nijak řízeno, ale otáčí se samovolně. [14]

6.2.3 Výplach

Jedná se o cirkulaci kapaliny různého složení a fyzikálně-chemických vlastností vrtem. Výplach má několik zásadních funkcí pro vlastní vrtání. Jedná se zejména o čištění a chlazení vrtného nástroje, odnos horninové drtě na povrch, těsnění puklin, zpevňování stěn vrtu, nadnášení vrtného nářadí ve vrtu a řadu dalších. [13]

6.3 Hlavní vrtné technologie

Volba vrtné technologie závisí zejména na účelu hydrogeologického vrtu, dále na znalosti hydrogeologických poměrů v dané oblasti a v neposlední řadě také na vlastnostech vodonosného souvrství. Zvolená vrtná souprava musí být schopna dovézt se do námi požadovaných hloubek a zároveň ještě vrt vystrojit, při exploatačním využití také zabezpečit vystrojení filtry. Hlavní používané vrtné technologie podle způsobu rozpojování horniny jsou podle Jedličky a Kožíška (1981):

- a) Vrtání úderem
- b) Vrtání rotační
- c) Vrtání kombinované
- d) Ostatní metody vrtání

Podle způsobu vynášení horninové drti z čelby vrtu:

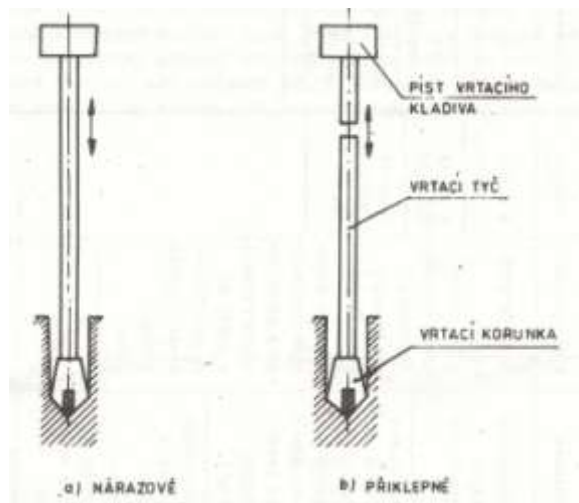
- a) Vrtání na sucho (bez použití výplachové tekutiny)
- b) Vrtání s výplachem

Obecně pro hydrogeologické účely se využívají všechny technologie, které umožňují v průběhu vrtání i po vystrojení vrtu získávat potřebné informace. Nejrozšířenějším typem vrtání pro hydrogeologické vrtání je vrtání rotační a jeho další modifikace. [2]

6.4 Vrtání úderem

Patří k vůbec k nejstaršímu způsobu hloubení vrtů, kdy základem je dopad dláta na povrch horniny. Lze ještě rozdělit do dvou podskupin podle přenosu energie na vrtný nástroj. Jedná se o vrtání nárazové a příklepové (viz obr. 4). Oba typy vrtání mají v principu stejný výsledný účinek, rozdíl je ve způsobu dodávání energie vrtnému nástroji. Při nárazovém vrtání koná vrtný nástroj přímočarý vratný pohyb a na dno dopadá vlivem nadzvedávání a spouštění vrtného lana nebo soutyčí. Při příklepovém vrtání je energie vrtnému nástroji předávána vlivem dopadu kladiva či pístu na vrtné soutyčí. [16]

Obr. 4: Princip vrubového rozpojování hornin [16]



Vlastní vrtání se skládá ze dvou základních kroků. Prvním je rozdrčení či rozpojení horniny dlátem na dně vrtu a druhým krokem je odstranění rozrušené horniny ze dna vrtu, nejčastěji pomocí kalovky. Při vrtání úderem se

totiž nejčastěji vrtá v tzv. mrtvé vodě, což je případ, kdy výplach ve vrtu necirkuluje. Nevýhodou takového postupu je časová náročnost operace. [4]

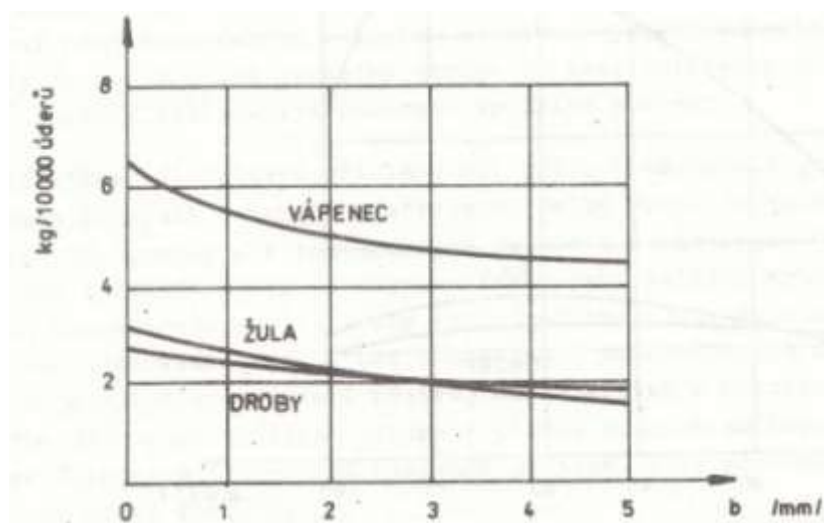
Tyto metody jsou obecně vhodné pro širokoprofilové vrty v tvrdých horninách a tam, kde dochází ke ztrátám výplachu, např. v krasových oblastech a také pro zastihnutí méně mocného kolektoru. Jinou metodou by totiž mohl být kolektor přehlédnut. V jakékoli hloubce je možné odebírat horninové vzorky a také ověřovat vydatnost vrtu. Vzorky pro dokumentaci se odebírají z vrtné drti na břitu nebo přibíráku. Naopak nevýhodou je velké porušení odebíraných vzorků hornin, což umožňuje jen přibližné litologické zařazení. Jen velmi obtížně se zjišťuje přesná hloubka naražené hladiny podzemní vody a velikost přítoku vody do vrtu. [13]

6.4.1 Proces rozpojování horniny při vrtání úderem

Podstatou vrtného procesu při vrtání úderem je dopad ostří vrtného dláta, kterému byla udělena kinetická energie, na povrch rozrušované horniny. Tato kinetická energie je předávána hornině a vytvoří se v ní žlábek klínovitého tvaru. Z počátku vrtného procesu jsou břity vrtného dláta ostré, nicméně již po několika prvních dopadech dláta na horninu dojde k jejich otupení a s rostoucím otupením klesá výkon dláta (viz obr. 5). Když jsou břity ostré, je hornina pod břitem stranově usmýknuta, pokud je ale již břit tupý, tak dochází k drcení horniny pod plochou břitu. V hornině dochází k porušení pevnosti ve stříhu i v tahu v závislosti na petrografickém složení horniny. Tvorbu vtisku do horniny při vrtání úderem lze vysvětlit jako vznik odražené a proniklé vlny při kontaktu břitu s horninou. „Odražená vlna se projeví odskokem nástroje od horniny a celkově se v nástroji maří, kdežto proniklá vlna vyvolává v hornině napětí a deformace. V omezené oblasti hned pod břitem přesahují tlaková napětí vyvolaná proniklou vlnou pevnost horniny v tlaku a vytvoří se nevelká oblast rozdrčení.“ [14, str. 19] Při odskočení dláta vlivem odražené vlny je nutné nástrojem pootočit, aby docházelo k rovnoměrnému rozrušování horniny v celé ploše čelby vrtu. Nejvhodnější

úhel pootočení je pro různé horniny odlišný. Samotný vrtný proces je ovlivňován počtem úderů, úhlem břitu, úhlem pootočení nástroje, velikostí přtlaku, počtem a množstvím břitů, puklinatostí horniny, její vlhkostí apod. S rostoucím průměrem vrtného nástroje je nutné úměrně zvyšovat přtlak, neboť se zvětšuje plocha působení. [16, 14, 4]

Obr. 5: Závislost množství odvrtné horniny na otupení břitu [16]



(Velikost plošky břitu je vyjádřena šířkou b)

6.4.2 Nárazové vrtání na laně (6.4.2)

Tato metoda patří vůbec k nejstarším typům vrtacích technik vůbec. Vynalezli ji už staří Číňané a první dochované zmínky o použití této metody jsou staré kolem 4000 let. Od té doby je tato metoda neustále využívána, samozřejmě ve značně modifikované podobě. Základním principem je neustálé pouštění a zvedání závaží zavěšeného na vrtném laně. Je nutné zvolit odpovídající frekvenci pouštění a zvedání vzhledem k parametrům lana, tedy jeho hmotnosti a pevnosti. Je nutné také brát v potaz hloubku vrtu, čím hlouběji jsme, tím více je lano namáháno.[18]

Vrtání na laně je možné provádět v tzv. mrtvé vodě nebo na sucho, tedy úplně bez výplachu. V případě vrtání v mrtvé vodě se velká část rozvrtané horniny vznáší ve vodě, až vytvoří velmi hustou břečku, kterou je třeba kalovkou odstranit. Pokud není použit žádný výplach, je nutné drť odstraňovat

podstatně častěji, neboť všechny horninový materiál setrvává gravitací na čelbě vrtu, stěžuje vrtání a dochází k rychlému opotřebení dláta. Nicméně vrtání na sucho je velmi výjimečné, protože v určité hloubce se většinou voda objevuje samovolně. [3, 18, 9]

Je možné jí použít až do hloubek kolem 500 m, ovšem čím je větší hloubka, tím menší průměr dláta je z důvodu únosnosti lana nutno zvolit. [18, 9]

6.4.2.1 Vrtná souprava a vrtná kolona pro nárazové vrtání na laně

Vrtná souprava pro vrtání na laně je poměrně jednoduché zařízení (viz obr. 6). Skládá se z motoru (většinou elektromotor), vrátku a vrtné věže či stožáru s kladkou. [13]

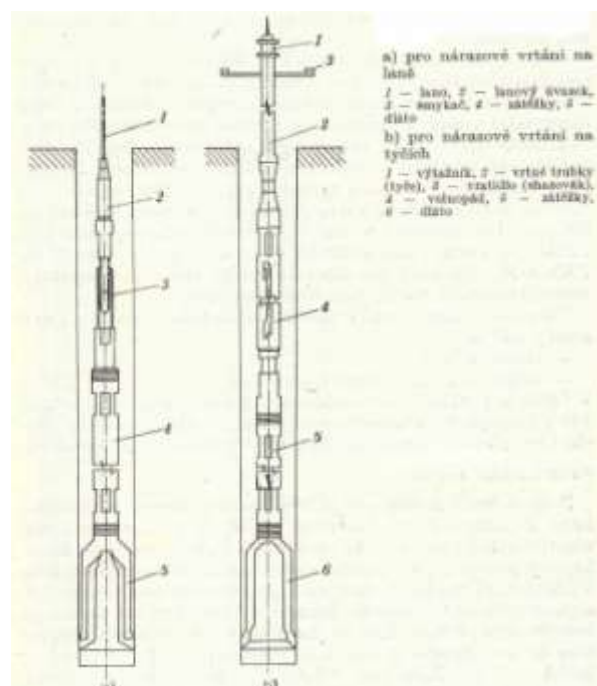
Obr. 6: Vrtná souprava pro vrtání na laně [3]



Vrtná kolona (viz obr. 7) používá lano o průměru většinou 16 – 25 mm s levým vinutím, aby bylo možné při zdvihu dláta s ním pootočit. Lanový zámek zajišťuje spojení lana se smýkačem a zároveň umožňuje volné otáčení lana. Smýkač se skládá ze dvou do sebe zapadajících posuvných částí. Hlavním

úkolem smýkače je umožnit lanu prokluz při dopadu dláta na horninu, a tím zabránit přenosu rázů do lana. Spodní část smýkače plynule přechází v zátěžky a na zátěžkách je našroubováno vlastní vrtné dláto. [4, 2, 9]

Obr. 7: Sestava vrtné kolony pro nárazové vrtání na laně a na tyči [4]



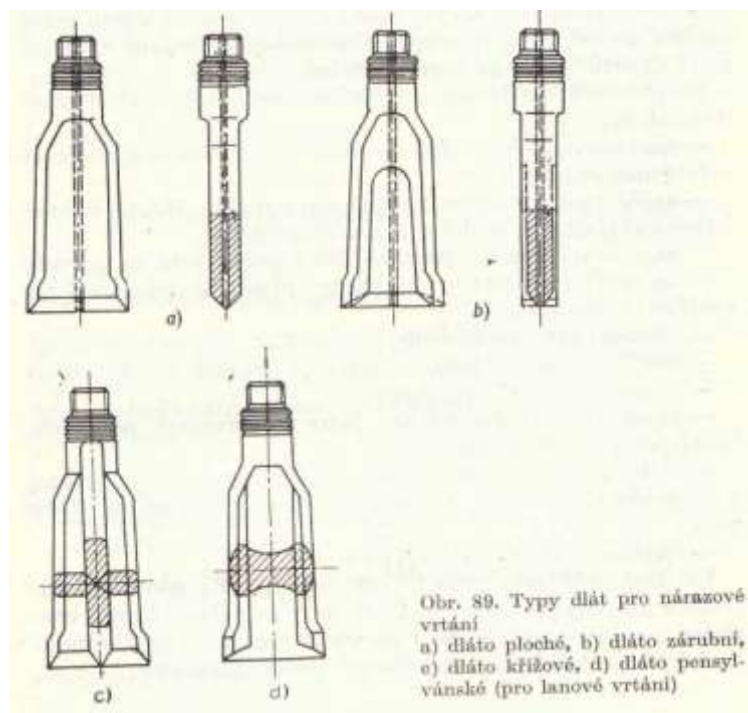
6.4.3 Nárazové vrtání na tyči

Nárazové vrtání na tyči se příliš neliší od výše popisovaného vrtání na laně. Hlavním rozdílem je přenos energie na dláto a tedy ve složení vrtné kolony. Soustava vrtných tyčí je zavěšena na výtažníku. V ploše klíče je shazovák a na vrtných tyčích je připevněn volnopád (nahrazuje smýkač) sloužící k ochraně soutyčí před rázy. Volnopád je obvykle píst a je spojen se zátěžkami, na nichž je opět připevněno dláto. Princip této metody je založený na zdvihu celé kolony. Při výzdvihu kolony a následným trhnutím shazováku dojde k volnému pádu spodní části kolony. Výhodou nárazového vrtání na tyči je možnost použití přímého i nepřímého výplachu. [4, 2]

6.4.4 Dláta

Existuje velké množství různě tvarovaných dlát (viz obr. 8). Vždy je potřeba, aby bylo vyrobeno z kvalitní nástrojové oceli a byla tak zajištěna jeho vysoká odolnost. Na horním konci dláta je čep pro připojení k zátěžce, zatímco na spodním konci dláta jsou břity broušené do úhlu $60^\circ - 140^\circ$. Čím je hornina tvrdší, tím je úhel ostření větší. Pro málo tvrdé horniny se používá dláto ploché a jehlancové. Zárubní dláto, které má dva obvodové břity vysunuty před hlavní břit, se používá pro tvrdší horniny. Křížové dláto s pracovní plochou ve tvaru rovnoramenného kříže se používá pro nejtvrdší horniny, protože nedochází tak snadno k jeho zaseknutí. Někdy se ještě používá ploché dláto s bočními břity tzv. přibírák, který slouží k rozšiřování vrtného otvoru. Pokud je používán výplach, pak je nutné, aby dláto mělo v sobě otvory umožňující jeho proudění. [2]

Obr. 8: Typy dlát pro nárazové vrtání [4]



6.4.5 Příklepové vrtání

Navazuje na předchozí metodu nárazového vrtání na tyči. Hlavní rozdíl je v mnohem vyšší frekvenci rázů při menším zdvihu vrtného soutyčí. Při vrtání úderem je to 10 – 20 zdvihů za minutu při výšce zdvihu do 1 m, zatímco

při příklepovém vrtání je to až 150 zdvihů za minutu při výšce zdvihu do 15 cm. Tento pohyb je vyvozován vahadly na povrchu, která střídavě napínají a uvolňují závaží dopadající na vrtné soutyčí. Při tomto typu vrtání se používá nepřímý výplach. [14]

6.5 Rotační vrtání

Patří obecně k nejpoužívanější metodě vrtání. Rozvinula se na rozdíl od nárazového vrtání až ve 20. století s rostoucím technologickým vývojem. Umožňuje dosahovat velkých hloubek v různých geologických formacích a vrtání je poměrně rychlé. Rotační vrtání lze rozdělit do dvou základních velkých kategorií. Jedná se o vrtání na jádro, nebo o vrtání plnoprofilové tzv. na plnou čelbu. Dále lze rotační vrtání ještě rozdělit podle způsobu vyplachování vrtu při vrtání na: vrtání s výplachem, který může být přímý i nepřímý a na vrtání bez výplachu. Průměry takto vrtaných vrtů mohou být velmi odlišné, od 40 mm až po 2000 mm. [14, 4, 9]

6.5.1 Proces rozpojování horniny při rotačním způsobu vrtání

Podstatou rotačního vrtání je plynulé otáčení vrtného nástroje za stálého přítlaku, který zajišťuje pronikání břitu nástroje do horniny. Při rotačním vrtání koná nástroj posuvný a otáčivý pohyb a odděluje třísku o určité tloušťce. Hornina je stlačována až do hranice pevnosti, dochází k jejímu usmýknutí a tento děj se periodicky opakuje. Při vrtání dochází k rozrušování horniny břítem a zároveň k rozrušování břitu horninou. Jednotlivá horninová zrna a tmel, který je spojuje, mají různou pevnost. Pokud je pevnost tmelu nižší než pevnost zrn, pak se budou zrna při vrtání zarývat do materiálu vrtného nástroje a tím ho rozrušovat. [14, 16]

Proces rozrušování horniny a břitu se dělí na povrchový a objemový způsob rozrušování. Při povrchovém rozrušování dochází k vytržení molekul

z jednoho materiálu materiálem druhým a tento způsob je velmi neefektivní. Při objemovém rozrušování dochází k vylamování celých částic horniny, nebo břitu a je potřeba mnohem méně energie, proces je tedy efektivnější. Vrtné nástroje jsou uzpůsobeny k objemovému rozrušování a vlivem povrchového se opotřebovávají. Pokud je břit vrtného nástroje absolutně ostrý, tak dochází při jakémkoli přitlaku na tento břit k okamžitému překročení kritické pevnosti a objemovému rozrušení horniny. Pro absolutně ostrý břit platí lineární závislost mezi rychlostí vrtání a přitlakem. Ve skutečnosti absolutně ostrý břit nelze vyrobit, ani jeho ostrost při vrtání udržet a dochází k jeho otupení. Tyto tupé břity pracují nejdříve v oblasti povrchového rozrušení a teprve při překročení tvrdosti horniny přitlakem (tzv. kritický přitlak) přechází do procesu objemového rozrušování. [14]

Nebezpečím u hlubokých vrtů je příliš vysoký přitlak vlivem vlastní hmotnosti vrtné kolony. Příliš velký přitlak způsobí rychlé opotřebování vrtného nástroje, ohnutí vrtného soutyčí a může dojít ke změně směru vrtání. Příliš nízký přitlak způsobuje také rychlé opotřebování nástroje, vezmeme-li v úvahu rychlost postupu prací. U takových vrtů je nutno kolonu nadlehčovat. Velký počet otáček urychluje opotřebení nástroje. Proto je nutné vždy najít kompromis pro nejrychlejší, ale zároveň nejefektivnější postup prací. [14, 2]

6.5.2 Vrtná kolona a souprava pro rotační vrtání

Na povrchu je opěrná věž (viz obr. 9) dnes většinou převozná, zejména pro účely hydrogeologických vrtů. Věž musí být odolná proti zborcení vlivem svislého zatížení. Dále je potřeba motor výkonově dostačující pro potřeby dané soupravy. Rotační pohyb je vyvíjen rotačním stolem, do kterého je upnut horní konec soutyčí. Tento otáčivý pohyb je přenášen vrtným soutyčím až k vrtnému nástroji na čelbu vrtu. Na vrtné tyče je přenášena obrovská síla, proto je kladen důraz na jejich vysokou kvalitu. Zejména u hlubokých vrtů často dochází až k několikanásobnému přetočení vrtných tyčí okolo své osy, někdy dojde dokonce k jejich úplnému prasknutí. [3]

Obr. 9: Vrtná souprava pro rotační vrtání [18]



6.5.3 Rotační jádrové vrtání s přímým výplachem

Rotační jádrové vrtání je nejrozšířenější metodou při průzkumném vrtání. Při tomto typu se téměř výhradně používá systém přímého výplachu. Je vhodné pro všechny typy hornin až na horniny rozdrcené. V rozdrcených horninách lze vrtat na jádro po injektáži cementem. Nejlépe se na jádro vrtá v celistvých a neporušených horninách. „Vrtání na jádro je rotační vrtání, při němž se nekrouhá vrt v celém průřezu, nýbrž jen v obvodovém prstenci, takže prostředek v podobě válečku zůstává neporušen.“[19, str. 31] Získáváme tedy vzorky v přirozeném stavu. Při vrtání neporušené jádro stoupá vnitřkem vrtné korunky do tzv. trhačky, což je trubka s pružinovými čelistmi, která při vytahování vrtného soutyčí váleček sevře a u dna vrtu utrhne, aby mohl být následně vynesena na povrch. Délka jádra závisí na celistvosti horniny a také na délce jádrovnice, tedy trubky, do které se během vrtání vrtné jádro zasouvá. Kvalita vrtání je vyjádřena výnosem jádra, tedy poměrem mezi délkou vrtu a délkou získaného jádra. [19, 2]

Vrtný nástroj na čelbě vrtu je chlazen výplachem proudícím shora od čerpadla dutým soutyčím přes jádrovku a trhačku až k čelbě. Vrtná drť je potom vynášena v suspenzi prostorem mezikruží mezi vrtným soutyčím a

stěnou vrtu až k povrchu. Na povrchu výplach proudí do odkalovací nádrže případně do nějakého tanku či velkého sudu. Pro mělké vrty stačí nádrže s objemem do 2000 litrů, zatímco pro hluboké vrty je potřeba nádrž s objemem alespoň 40 000 litrů, aby byla zajištěna dostatečná kapacita výplachu. Při použití vzduchového výplachu se vzduch recyklovat vůbec nemusí, protože kompresor žene do vrtu neustále vzduch nový. Nicméně takové vrtání je pak zdravotně velmi nešetrné k vrtné posádce. Pro odstranění velkých úlomků z výplachu se používají vibrační síta. [19, 9]

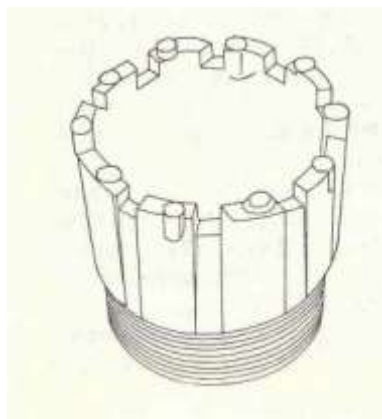
Podle Betuše a Pinky (1998) se rotační jádrové vrtání dělí dle použitých vrtných nástrojů na:

- a) Vrtání tvrdokovovými nástroji (nástroji ze slinutých karbidů)
- b) Vrtání diamantovými nástroji
- c) Vrtání šrotem

6.5.3.1 Vrtání tvrdokovovými nástroji

Zaujímá v jádrovém vrtání pro hydrogeologický průzkum více než 50% podíl, protože tato metoda je vhodná pro vrtání vrtů o větším průměru. Proces rozpojování je v tomto případě zajištěn pomocí vrtných korunek osázených řezci, které jsou vyrobeny ze směsi slinutých karbidů (viz obr. 10). Slinuté karbidy jsou vyrobeny slinováním kovových karbidů a čistých kovů v práškovém stavu. Nejčastěji se jedná o směs wolframu a kobaltu. Tato směs má vysokou tepelnou odolnost a tvrdost. Řezce zajišťují proces rozpojování horniny, mohou mít různý tvar a jsou usazeny pod různým úhlem dle typu horniny. Pro středně tvrdé horniny se usazují vertikálně s úhlem řezu 90°, pro měkké je úhel řezu mezi 80°- 85° a pro tvrdé horniny jsou řezce v úhlu větším než 90°. Množství řezců se volí podle požadavku na vrtný přítlak, čím vyšší přítlak, tím méně je třeba řezců a zároveň jsou nižší. [4, 2]

Obr. 10: Roubíková korunka ze slinutých karbidů [4]



Při vrtání dochází kromě rozrušování horniny také k opotřebování řezců, které se postupně otupí a ztrácejí tak schopnost vrtat. Rychlost vrtného procesu, ale také opotřebení řezců závisí na vzájemném poměru tvrdosti horniny a materiálu, ze kterého jsou řezce vyrobeny. Význam mají také fyzikálně mechanické vlastnosti horniny, jako je křehkost, abrazivnost a puklinatost. Důležité je zvolit vhodný přítlak, obvodovou rychlost vrtné korunky, intenzitu výplachu, ale také rozmístění řezců na korunce. Obecně platí, že čím je hornina tvrdší a korunka tupější, tím je třeba vyšší přítlak. Vždy je ale potřeba najít správnou hranici odpovídajícího přítlaku. Krajiní hrany řezců jsou opotřebovávány rychleji, protože opracovávají navíc ještě stěny vrtu a jádro. Proto se řezce umísťují v různých rovinách, aby opotřebení bylo co nejrovnomernější. Důležité je zvolit vhodný tlak a množství výplachové tekutiny tak, aby byl vrtný nástroj dokonale čištěn. Nejčastěji se používá přímý výplach. [14]

6.5.3.2 Vrtání diamantovými nástroji

Jedná se o nejstarší používanou metodu při rotačním jádrovém vrtání vhodnou pro tvrdé typy hornin. Tento typ vrtání byl poprvé použit již v roce 1862 a největší rozmach zaznamenal po 2. světové válce v souvislosti s vrtáním na ropu. Dnes patří k nejmodernějším technologiím hlubinného vrtání. Vrty lze hloubit velmi malým průměrem začínajícím na rozměru 40 mm

(maximálně však do cca 150 mm) a pod libovolným úhlem. Diamantové korunky (viz obr. 11) pracují většinou při velkých rychlostech otáčení a není třeba takového přtlaku. Rychlost postupu při vrtání je větší než u všech ostatních druhů vrtání. [2, 15]

Obr. 11: Příklady diamantových korunek pro jádrové a bezjádrové vrtání, diamantové přibíráky [15]



Diamant je nejtvrdší přírodní materiál s číslem 10 na Mohsově stupnici tvrdosti. Je 5krát tvrdší než slinuté karbidy, a proto je tato technologie vhodná pro vrtání těch nejtvrdších horninových typů. Vrtné korunky jsou osazovány třemi druhy diamantů. Jedná se o karbony, balasy a borty. [4]

Karbony jsou ze všech nejkvalitnější. Jejich tvar je typicky ostrohranný. Jsou schopny odolávat vysokému zatížení v tlaku, ale zároveň jsou velmi křehké. Ze všech druhů diamantů se karbony opotřebovávají nejrovnoměrněji, a proto se nejvíce hodí pro vrtání, ovšem jsou velmi drahé. Používají si při vrtání ve velmi tvrdých horninách. [15, 4]

Balasy mají oválný tvar. Jejich povrch je velmi tvrdý, dokonce tvrdší než karbony, ale pokud dojde k obroušení tohoto povrchu, tak rychle ztrácejí své schopnosti. Používají se při vrtání v mírně rozrušených horninách. [15, 4]

Poslední skupinou jsou borty. Borty mají sice ze všech druhů diamantů největší tvrdost, ale jsou velice křehké a nárazem se snadno poškodí, proto se

drtí na jemný diamantový prach používaný pro leštění, broušení, ale i na výrobu nástrojů slinováním. [15,4]

Poslední dobou se také využívají syntetické diamanty, které jsou vyráběny z uhlíku při vysokých tlacích a teplotách. [4]

Diamantová korunka se skládá z vlastního tělesa a řezného věnce. Těleso korunky je zhotoveno z ocelových trubek a na jeho čelo navazuje řezný věnec, který je základní částí korunky. „Řezný věnec musí poskytovat kamenům dostatečnou oporu proti zatlačení a zároveň musí mít náležitou tvrdost, aby odolával abrazivním účinkům vrtané horniny, a jejím částicím ve vrtném kalu.“[15, str. 69] Základem je vhodné rozmístění diamantů na korunce tak, aby byla pracovní plocha stejnoměrně pokryta. Existují dva základní typy diamantových korunek, které se liší uspořádáním diamantů. Prvním typem jsou korunky s povrchově vsazovanými diamanty v jedné vrstvě s vysazením z těla matrice o $0,1$ až $0,2d$, kde d je střední průměr diamantu. Druhým typem jsou korunky impregnované, které mají matici ze slinutého karbidu naplněného drobnými diamanty nebo diamantovým prachem. Některé impregnované korunky jsou na vnější a vnitřní straně osazovány diamanty vyšší kvality. Po nějaké době je třeba korunky renovovat opracováním matrice o výšku asi $0,02$ mm. Při vrtání povrchově vsazovanými korunkami dochází k rozpojování horniny řezáním, zatímco u impregnovaných korunek především obroušováním. [4, 2]

K udržení jmenovitého průměru vrtu a k ochraně vrtné korunky se často používá diamantový přibírák. Jeho ocelové tělo je připojeno závitem k jádrovnici i vrtné korunce. V dolní části je na několika plochách osazen diamanty. Tvar přibíráku je takový, aby umožnil vložení trhače jádra do korunky. [15]

Při diamantovém vrtání se hodnotí kvalita vrtání podle opotřebení korunky na jeden odvrtaný metr. Základem pro dobrou kvalitu vrtání je zvolit vhodný přítlak a počet otáček. Přítlak je potřeba během vrtání zvyšovat v závislosti na opotřebování vrtného nástroje a měnící se litologii. Počet otáček se v závislosti na hloubce vrtu a opotřebování korunky pohybuje v rozmezí od 200 až 2000 otáček za minutu. V porovnání s vrtáním tvrdokovovými

korunkami se vrtá při vyšších otáčkách a nižším přitlaku. Tato metoda umožňuje velmi dobře určit přesnou litologii daného profilu. Nevýhodou pro hydrogeologický průzkum je špatná možnost odhadnout hloubku naražené hladiny. [2]

6.5.3.3 Diamantové vrtání dvojitém jádrovákem

Někdy je tento systém vrtání označován jako wire-line. Základním předpokladem k použití je dlouhodobá životnost diamantové vrtné korunky, která zůstává na čelbě vrtu až do svého úplného opotřebení. Hlavním úkolem je co nejlepší ochrana jádra před rozplavením vlivem výplachu, nebo jeho rozpadem u mechanicky méně odolných hornin. Jedná se o dvojitou trubku, kdy ve vnitřní trubce je uchováváno jádro a vnější trubkou proudí k čelbě výplach. Výhodou pro proudění výplachu je konstantní objem mezikruží. Do vrtu musí být vháněn výplach zbavený hrubých nečistot, aby nedošlo k ucpání prostoru mezikruží. Tato metoda se nehodí do nestmelených písků, protože prostorem mezikruží nestáčí proudit dostatečné množství výplachu k čelbě. [15]

6.5.3.4 Vrtání šrotovými korunkami na jádro

Je vhodné pro vrtání ve tvrdých horninách. Tato metoda se dnes již příliš nepoužívá a pro hydrogeologické účely není vhodná, protože vrtný šrot se často zataví do stěn vrtu a omezuje proudění vody do vrtu. Výhodou je možnost vrtat poměrně velké průměry až kolem 300 mm. Nelze použít pro velmi malé průměry vrtání, neboť vrtný šrot poruší jádro. Omezen je také sklon vrtání, protože při úklonu větším než 30° dochází k jednostrannému hromadění šrotu na dně vrtu. [4]

Šrotová korunka je dutý válec s výřezem na spodní straně, který slouží jako zásobník šrotu. Ze zásobníku se v průběhu vrtání uvolňuje šrot dodávaný

do mezikruhového prostoru pod čelo korunky, kde je hornina rozrušována drcením. Na vrchním konci je korunka opatřena závitem pro našroubování jádrovnice. Jako vrtný šrot se používá šrot litinový, ocelolitinový, ocelový sekaný nebo drcený šrot ze slinutých karbidů. Zrnitost šrotu je v rozmezí od prachových částic až do 7 mm. Dávkování šrotu může být jednorázové nebo periodické. Při jednorázovém je dávka vhozena před začátkem vrtání. Při periodickém je automatickým dávkovačem dodávána průběžně. Výplach je přímý a jeho proudění musí být takové, aby vynášel pouze horninovou drť a rozdrčené částice šrotu, nikoli celistvý šrot. Při jednorázovém dávkování šrotu se tedy v průběhu vrtání množství výplachu snižuje. [4,14]

6.5.3.5 Jádrové vrtání s nepřímým výplachem

Souprava vrtající nepřímým výplachem se nazývá Counter- Flush. Při nepřímém výplachu je výplach dolů tlačěn mezi stěnou vrtu a soutyčím, nahoru potom vystupuje vnitřkem vrtného soutyčí. Při reverzním způsobu vyplachování nedochází k takovým ztrátám drti nebo úlomků jako při přímém výplachu. Tato souprava není vhodná k vrtání ve šterkových vrstvách. Hlavní rozdíl mezi jádrovým vrtáním s nepřímým výplachem a mezi jádrovým vrtáním s přímým výplachem je nutnost častého nadzvedávání vrtného zařízení, aby došlo k ulomení jádra. Jádro totiž nesmí být delší než 6 cm, aby nedošlo k ucpání soupravy v oblouku výplachové hlavice. [20]

6.5.4 Rotační vrtání na plnou čelbu

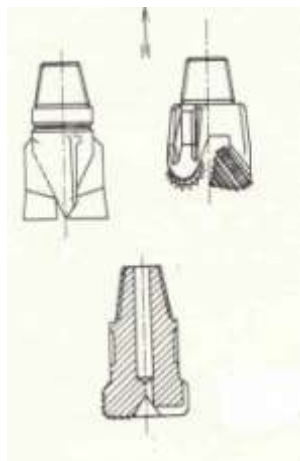
Tato metoda byla vynalezena zejména pro zvýšení rychlosti vrtání a možnosti dosáhnout velkých hloubek vrtu, až 9000 m. Nejedná se o vrtání na jádro, ale hornina je rozrušována v celé ploše čelby vrtu. Tento způsob vrtání byl původně vyvinut pro vrtání na ropu. Dnes je tato metoda kromě průzkumu ropných uhlovodíků hojně využívána pro realizaci vrtaných studní. Pro hydrogeologický průzkum se příliš nepoužívá. Výhodou je možnost dosahovat

průměru až 3000 mm a mnohem rychlejší postup než v případě vrtání jádrového. Nevýhodou je obtížné určení hloubky naražené hladiny a také velmi porušené vzorky horniny. Většinou se používá přímého výplachu, ale u vrtů s průměrem nad 600 mm již není přímý výplach schopen správně plnit svou funkci a je nutné použít výplach nepřímý. Jako výplach se většinou používá čistá voda, případně se do vody přidává jíl pro zahuštění nebo pěnidlo. [4,9]

Někdy se při přímém výplachu používá jako výplachové médium vzduch. V tomto případě je nutné, aby vrtná souprava byla vybavena dostatečně silným kompresorem pro vhánění vzduchu a zároveň byla hornina dostatečně rozdrčena a vzduch jí tak mohl bez problémů vynášet na povrch. Proto je systém přímého vzduchového výplachu vhodný do nezpevněných hornin, které se snadno drtí na malé úlomky. Ze zkušeností vyplývá, že při vrtání vzduchovým výplachem je rychlost vrtání vyšší a zároveň dochází k menšímu opotřebování vrtného nástroje, protože výplach na vodní bázi bývá mnohdy více abrazivní. Výhodou je lehce rozpoznatelné naražení hladiny podzemní vody. [9]

K rozrušování horniny se využívá dlát, která se ale liší od dlát pro vrtání nárazové. Podle tvrdosti hornin se používají dláta valivá, listová anebo diamantová (viz obr. 12), nejčastěji ovšem valivá. Dláta v sobě mají otvory pro proudění výplachu a ve vrchní části závit pro připojení k vrtnému soutyčí. Listová dláta mají několik čepelí umístěných v různém vzájemném úhlu a hodí se do nekonsolidovaných hornin, jako je jíl a písek. Diamantová dláta pro vrtání na plnou čelbu mají stejné složení jako diamantová dláta pro vrtání na jádro. Hlavním rozdílem je jejich plný tvar bez otvoru uprostřed. Valivá dláta mají několik kuželovitých těles, které kroužením rozrušují i ty nejtvrďší horniny. [9,14]

Obr. 12: Vrtná dláta pro Rotary vrtání [4]



Rozrušení horniny je způsobeno svislými a vodorovnými silami. Svislé síly jsou způsobeny vahou soutyčí případně zátěžkami. Zdrojem vodorovných sil je rotační stůl a soutyčí. Parametry režimu vrtání závisí hlavně na pevnosti vrtané horniny a typu použitého dláta. Nejdůležitějším parametrem je přítlak. [14]

6.5.4.1 Rotační valivé vrtání na plnou čelbu

Vrtá se dutým soutyčím zakončeným valivým dlátem, na kterém jsou kuželovitá tělesa s výstupky nebo zuby vyrobenými z tvrzené oceli, nebo karbidů wolframu. Kužely mají různý tvar a proměnný počet výstupků. Počet kuželíků je prakticky neomezený, existují dláta dvoukuželíková, ale i mnohačlenné nástroje pro vrtání velkopřůměrových vrtů. Výstupky sousedních kuželů se prolínají navzájem, čímž se čistí a drtí horninu. Pro měkké horniny se používá velký počet širokých zubů, zatímco pro tvrdé horniny menší množství drobnějších zubů. [9]

Pokud je potřeba vrt rozšířit, pak se používají přibíráky (viz obr. 13). Existují dva typy přibírání. Prvním je další soustava kuželíků v určité výšce nad dlátem u čelby, která je širší než průměr vrtání na počvě. Takových sekcí může být nad sebou více. Druhým typem jsou nástroje, které umožňují rozevřít postranní břity v libovolné hloubce, kus vrtat přibíráním a poté je zase zavřít a

vrtat původním průměrem. Druhého typu se využívá, pokud je třeba obsyp jen v určité hloubce. [9]

Obr. 13: Přibírák pro rotačně valivé vrtání na plnou čelbu [9]



V případě, kdy je potřeba při valivém vrtání získat neporušený vzorek horniny, je možné používat valivá dláta s konstrukcí, která umožňuje vnikání jádra do kruhového prostoru uprostřed. Tato valivá dláta pro jádrové vrtání se používají většinou vždy jen v intervalech, kdy je nutné odebrat vzorek. [2, 14]

Mechanismus rozpojování horniny při valivém vrtání je velmi podobný vrtání nárazovému. Dochází k drcení horniny nárazy zubů nebo výstupků. Je důležité zvolit vhodný přítlak na dláto, aby byla zajištěna jeho co nejdelší životnost. Pokud je přítlak o polovinu vyšší nebo nižší než je optimální stav, životnost dláta se sníží až na dvacetinu. [14]

6.5.4.2 Rotační vrtání na plnou čelbu s nepřímým výplachem

Při průměru vrtu nad 600 mm nemá přímý výplach dostatečnou vztakovou sílu vynášet horninovou drť prostorem mezikruží, a tak je nutné používat výplach nepřímý odsávaný od čelby, tzv. sací způsob vrtání. Ten zajistí dostatečně rychlý odnos drtě od čelby. Na horním konci vrtného soutyčí je napojeno čerpadlo, které vytváří potřebný podtlak a vysává výplach směrem nahoru. Zpět do vrtu se výplach dostává volně samospádem z odkalovací nádrže. Pokud podtlak není vytvářen čerpadlem, ale tryskou ve výplachové hlavě, pak hovoříme o proudovém způsobu vrtání. [6, 9]

Výhodou takového vrtání je, že nedochází k erozi stěn vrtu, protože výplach se prostorem mezi soutyčím a stěnou vrtu pohybuje pomalu. Důležité je, aby výplach vytvářel určitý hydrostatický tlak ve vrtu a udržoval tak stěny stabilizované. Zároveň je nutné mít dostatečnou zásobu výplachu. Pokud se začne v puklinových zónách výplach ztrácet a klesne jeho hydrostatický tlak, může dojít k zavalení vrtu. Toto vrtání je vhodné do nepevných a lehce zpevněných hornin, které při vrtání nevytváří příliš velké úlomky, jež by mohly ucpat výplachovou vzestupnou větev. Není tedy vhodné do tvrdších typů hornin. [9]

Někdy se do nepřímého výplachu pomocí kompresoru přidává vzduch. Vzduch je veden podél vrtného soutyčí tenkými trubičkami, obvykle bývají dvě, které v určité výšce nad vrtným nástrojem vnikají do vrtného soutyčí a provzdušňují výplach. Tímto je snížena hustota výplachu a je možné jeho rychlejší čerpání na povrch. Tento způsob se označuje jako airlift. [9]

Pro vrtání airliftovým a sacím způsobem se používají speciální dláta. V měkkých horninách se používají hrablová dláta. Pro středně tvrdé horniny je určeno Zublinovo valivé dláto, jehož hlavice je vykloněná a s osou vrtu svírá ostrý úhel. [2]

Pro oba typy vrtání je nutností dostatečně objemná odkalovací nádrž, jejíž objem by měl odpovídat přibližně 2-3 násobku celkového předpokládaného objemu vrtu. [2]

6.5.4.3 Dvoustěnné rotační vrtání s nepřímým výplachem

Tento systém byl vyvinut v hornictví pro získání co nejpřesnějších informací o geologickém podloží z daných hloubek. Dnes se běžně používá pro konstrukci hydrogeologických vrtů. [18, 9]

Pro vrtání se používá vrtná trubka s dvojitým pláštěm, ve kterém reverzně koluje výplach (vzduch nebo voda). Vnější plášť sestupuje výplach k čelbě a vnitřním vystupuje i s horninovou drtí na povrch. Na rozdíl od konvenčního vrtání se tedy výplach vůbec nedostává do kontaktu se stěnou vrtu, jediné místo kontaktu je čelba vrtu. Někdy se stane, že vlivem abrazního účinku vynášeného materiálu dojde k prodření vnitřní trubky a musí být měněna. Pro tuto metodu mohou být použity všechny typy výplachu a používá se přibližně do hloubek 300 m. [18, 9, 3]

Hlavní výhodou je snadné získání horninových vzorků, snadný odhad vydatnosti kolektoru a téměř nulová ztráta výplachu. Hlavní nevýhodou je maximální průměr do 250 mm a hloubkové omezení. [9, 3]

6.6 Kombinované způsoby vrtání

Při kombinovaném způsobu vrtání se používá různých typů vrtných technologií spojených v jednom vrtném procesu. Hlavním důvodem je zvýšit efektivitu a rychlost vrtání.

6.6.1 Rotačně příklepové vrtání

Jak název sám napovídá, jedná se o kombinaci rotačního a příklepového vrtání. Současně tedy působí rotace a dynamické rázy. Rázy jsou vyvozovány většinou ponornými kladivy, která mohou být buď hydraulická, nebo vzduchová. Hydraulická ovšem pro hydrogeologické účely nemají uplatnění.

Dnes se jedná o jednu z nejpoužívanějších technologií především díky rychlému postupu. [4]

Vlivem kombinace nárazu a vhodného kroutícího momentu dochází k třískovitému rozpojení horniny. Rychlost vrtání závisí na tvrdosti vrtané horniny, počtu otáček a úderů, kroutícím momentu a velikosti přitlaku. Přítlak bývá menší než při vrtání rotačním, ale o dost vyšší než při vrtání příklepovém. Kroutící moment přibližně odpovídá rotačnímu vrtání, avšak otáčky bývají nižší. Tento typ vrtání není vhodný do nejtvrděších typů hornin, kdy je potřeba vysoký přítlak a kroutící moment, což značně snižuje efektivitu vrtání a nepřenáší tak žádnou výhodu oproti běžnému rotačnímu vrtání. [16, 14]

Výhodou tohoto způsobu vrtání pro hydrogeologii je snadná identifikace přítoků do vrtu, zjištění naražené hladiny podzemní vody a také nízká kolmatace stěn vrtu. Nevýhodou jsou silně porušené horninové vzorky. Soupravy jsou schopné v závislosti na výkonu pohonného a výplachového zařízení vrtat do hloubek až 500 m. [13]

6.6.1.1 Rotačně příklepové vrtání vzduchovými ponornými kladivy

Ponorná pneumatická kladiva (viz obr. 14) využívají stlačený vzduch pro vyvození úderu a jsou používána hlavně při vrtání na plnou čelbu. Kladivo silně naráží na horninu a zároveň se otáčí. Princip vrtání je podobný vrtání na laně, jen s rozdílem nulového odskoku kladiva při úderu, vždy je udržován stálý kontakt dláta s horninou. Hlavní výhodou těchto kladiv je schopnost přenášet vysokou údernou sílu bez ztráty energie přenosem přes vrtné soutyčí. Stlačený vzduch je zároveň používán jako přímý výplach a je tak zajištěna čistota čelby vrtu před každým úderem. Díky tomu dochází k pomalejšímu opotřebení dláta a není třeba takové energie. [2, 9]

Obr. 14: Vrtací kladivo [3]



Dláta jsou vyrobena z legované oceli se vkládanými karbidovými kroužky, které lze při jejich opotřebení vyměnit. Nejčastěji se používají dláta valivá, ale lze použít také křížová a roubíková. Důležité je pro každou provrtávanou formaci zvolit vhodný přítlak a otáčky, aby nedocházelo k předčasnému opotřebení dláta. Obecně platí, že čím tvrdší hornina, tím menší otáčky. Tato metoda dosahuje vysoké efektivity ve tvrdých horninách jako je např. žula. [3, 2]

6.6.2 Vibrační vrtání

Podstatou vibračního vrtání je vyvozování velkého počtu kmitů vibrátorem na vrtný nástroj. Vibrace vznikají kmitáním excentricky umístěného závaží s frekvencí až 3000 kmitů za minutu. Zdrojem zahlubovací síly jsou vibrace usměrněné do jednoho směru. Sekundárním účinkem je chvění zeminy v okolí, čímž se snižuje plášťové tření nástroje s okolní zeminou vně i uvnitř a dochází tak ke snadnějšímu pronikání vrtného nástroje. [14, 20, 9]

Takto se hloubí vrty do 30 m, optimálně do 15 m, protože v hlubších zónách dochází k výraznému utlumení vibrací přenosem přes vrtnou kolonu. Průměr vrtání se pohybuje v rozmezí od 60 mm do 150 mm. Vrtá se buď bez

výplachu, nebo v tzv. mrtvé vodě. Touto metodou je možno při použití jádrovnice získávat poměrně kvalitní vzorky jádra. Nutností je jádro vyjmout ve správný okamžik, aby nedošlo k jeho porušení vlivem vibrací. [14]

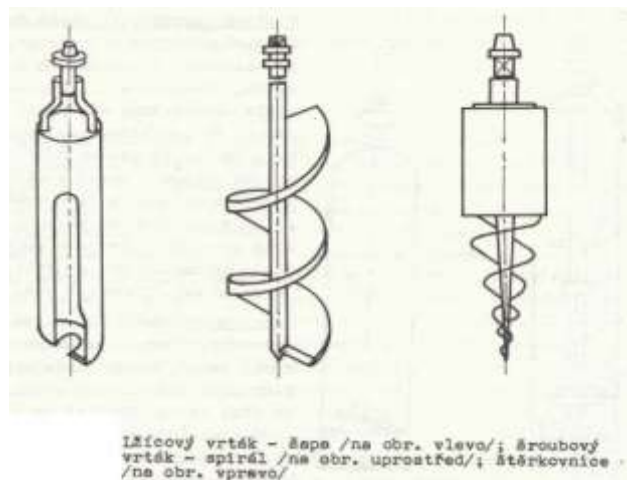
V hydrogeologii se využívá této technologie pro monitorovací vrty, kde se rovnou zavibroává výstroj. Široké uplatnění nachází i v inženýrské geologii a ve stavebnictví. Používá se v nezpevněných a lehce zpevněných horninách, kde dosahuje vysokých rychlostí. [14]

Někdy se v nezpevněných horninách používají ruční vibrační kladiva s hloubkovým dosahem do 6 m. Nacházejí využití při zjišťování mělké hladiny podzemní vody a odběru mělkých litologických vzorků. [13]

6.6.3 Náběrové vrtání

Jedná se o druh rotačního vrtání, při kterém není používán výplach a vrtný nástroj vynáší horninu rovnou od čelby vrtu směrem vzhůru. Tato metoda je omezená pouze na vrtání v měkkých horninách a zeminách. Používají se různé typy nástrojů, například šapa, kalovka, spirál a náběrový koš (viz obr. 15). Pohon vrtného nástroje je zajišťován rotačním stolem (viz obr. 16) nebo ručním otáčením. Náběrové vrtání se nehodí pro určování litologických rozhraní, neboť vzorky jsou velmi promíchané. Naopak výhodou je možnost použití pro horniny, kde dochází ke ztrátě výplachu a tam, kde je třeba vrtat většími průměry. Průměr vrtu může dosáhnout až 3000 mm. [20, 2, 14]

Obr. 15: Nástroje pro náběrové vrtání [14]



Obr. 16: Vrtná souprava pro náběrové vrtání [18]



6.6.3.1 Šapa

Šapa neboli lžicový vrták je válec ze silného ocelového plechu po celé délce rozříznutý. Tímto otvorem vnika rozpojená hornina do vnitřního prostoru válce. Dolní konec je opatřen břitem, kterým proniká do horniny. Tento nástroj se hodí do měkkých hornin. [9, 14]

6.6.3.2 Spirál

Spirál, někdy též označovaný jako šroubový vrták, je spojitý kus ocelového pásu šroubovitého tvaru. Pro použití v zeminách tužší konzistence jsou listy spirály vyráběny z tvrzené oceli. Poslední závit přechází v břit, kterým je realizován proces rozpojení. Rozpojená hornina je vrtáním posunována po spirále směrem vzhůru a při vytažení nástroje je vytěžena, neb přilnavostí setrvává na závitech spirály. Spirál se hodí do obtížněji vrtatelných hornin lépe než šapa. [9, 14]

6.6.3.3 Talířový vrták

Talířový vrták je velmi podobný spirálovému. Hlavním rozdílem je, že u talířového vrtáku je spirála přivařená ke středové tyči a po stranách má řezné nože, které odřezávají horninu i na stěně vrtu. Spirála má menší sklon než v případě šroubového vrtáku a proto má větší vynášecí schopnost v méně soudržných horninách než šroubový vrták. [2]

6.6.3.4 Štěrkovnice

Pro vrtání v sypkých a nesoudržných horninách se používá štěrkovnice, což je talířový vrták s ocelovým krytem. Kryt je při vrtání v poloze nad vrtákem a při vytahování vrtného nástroje poklesne, čímž překryje vrták a zabrání tak vypadávání horninového materiálu. [14]

6.6.3.5 Kalovka

Ve zvodněných a nesoudržných horninách se vrtá těžní lžící klapkovou neboli kalovkou. Někdy se také může používat k odstranění kalu na dně vrtu. Jedná se o 1,5 až 3 m dlouhou ocelovou trubku na spodním konci opatřenou břitkem. Uvnitř břitu je klapkový ventil, který se při spuštění na dno otevře a při vytahování zavře, čímž je materiál držen uvnitř trubky. Spouštění a vytahování je opakováno do doby, než se kalovka zcela naplní. [14]

6.6.3.6 Pístová kalovka

Pro vrtání v neulehlých zvodněných pískách a štěrcích se používá pístová kalovka. V tomto případě je nutné, aby ve vrtu byla voda. Kalovka se pohybuje nahoru a dolů, kdy při pohybu nahoru dochází k otevření ventilu a sání vody spolu se zrny písku a drobnými valouny. [14]

6.6.4 Šnekové vrtání

Při šnekovém vrtání je rozrušená hornina z počvy vrtu vynášena až na povrch. Šnekový vrták je nastavován po celé délce vrtu, nahrazuje tak vrtnou kolonu a zároveň plní funkci vrtného nástroje. Během vrtání není potřeba proces přerušovat pro odstranění návrtu. Hodí se stejně jako náběrové vrtání do měkkých hornin a zemin. Vrtný postup patří vůbec k nejrychlejším a umožňuje dosáhnout hloubek až 50 m. [14]

Někdy se používá šnekový vrták s dutou trubkou uprostřed, která zároveň plní funkci pažení. Na spodní části je frézovací hlava, která aktivně pomáhá rozrušovat horninu. Délka těchto tyčí je většinou 1,5 m a lze je nastavovat až do hloubek kolem 40 m. [9]

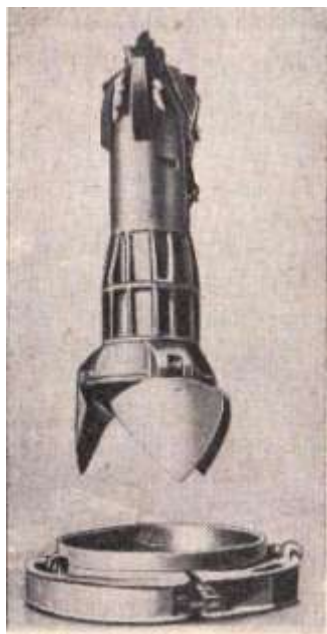
6.6.5 Šnekové náběrové vrtání

Tato metoda využívá šnekového naběráku o velkém průměru uzavřeného ve válcové nádobě. Otáčením dochází k nabírání horninového materiálu do nádoby a při jejím naplnění je nutné celou soupravu vytáhnout na povrch a návrt vyklepat. Touto metodou se dá vrtat až do hloubek kolem 80 m, nicméně běžný standart je od 20 do 50 m. Průměry vrtů jsou spíše větší, pohybují se od 40 až do 120 cm. Tato metoda se používá hlavně pro vrtání v jílech, kde lze dobře vrtat, aniž bychom pažili. Lze vrtat i v pískových profilech pod hladinou podzemní vody, pokud je vrt zaplněn vodou. Nevýhodou této metody je omezený hloubkový dosah a nemožnost vrtat v nezpevněných horninách. [18]

6.6.6 Hloubení drapáky

Jedná se o kombinaci náběrového a nárazového velkopřůměrového vrtání, vhodného pro nesoudržné až středně soudržné horniny. Dosahované vrtné průměry jsou až 3000 mm. Drapák (viz obr. 17) se skládá z hlavice a čelistí. Může být ovládán pomocí lana nebo hydraulicky. Princip hloubení spočívá ve spuštění drapáku s otevřenými čelistmi na dno vrtu, nárazovém rozpojení horniny, zavření čelistí a vytěžení na povrch. Lze je rozdělit do čtyř skupin na drapáky jednolanové, dvoulanové, hydraulické a vedené. [2, 14]

Obr. 17: Drapák Benoto [19]



Jednolanové vrtáky jsou nejjednodušší. Pohyb čelistí je ovládán tahem lana nahoru a dolů. Někdy může dojít k zaseknutí čelistí např. při sevření dřeva, nebo dokonce k utržení lana. [14]

Dvoulanové vrtáky umožňují ovládat sevření čelistí nezávisle na pohybu drapáku pomocí lan v kladkovém systému. Tento systém umožňuje otevření čelistí přímo ve vrtu nezávisle na poloze drapáku. [2]

Hydraulicky ovládané drapáky mají velkou svírací sílu čelistí, proto se hodí i do tvrdších hornin. Pohyb čelistí je zajištěn jedním nebo více písty. [2]

Vedené drapáky se pohybují podél vodící tyče a mohou být ovládané lanem nebo hydraulicky. Výhodou takového řešení jsou malé výchylky od svislice sondy. [2, 14]

6.7 Moderní vrtné technologie

6.7.1 Ultrazvukové vrtání

Ultrazvuk je akustické vlnění o frekvenci větší než 20 000 Hz. Zdrojem ultrazvuku obvykle bývají speciální přístroje, nejčastěji se používají piezoelektrické měniče napájené ultrazvukovými generátory. Přístroj se skládá z akustické a vibrační části, přičemž obě části musí pracovat synchronně. [21]

Dosud se ultrazvuk používá hlavně pro diagnostiku kvality materiálů, např. ultrazvukové prosvěcování vrtných trubek.

Dalším využitím ultrazvuku v geologii je hybridní systém vrtání, kdy je klasická vrtná technologie doplněná o ultrazvukové rázy. Díky ultrazvuku dochází ke snížení potřebné řezné síly nástroje a lepšímu lámání horniny. [22]

6.7.2 Laserové vrtání

Firma Foro ze státu Colorado vyvinula vysoce výkonný laser schopný rozrušovat i tvrdé skalní horniny. Ve velmi tvrdých horninách dochází k rychlému opotřebení vrtných nástrojů. Právě v tomto případě je laser velmi nápomocný, neboť zahřívá skalní povrch tak rychle, že vlivem tepelného šoku dochází k frakturaci horniny i do hloubky několika milimetrů a tato narušená vrstva je pak mnohem snadněji provrtána vrtným nástrojem. Výhodou jsou nižší energetické nároky na vrtnou soupravu a to až o 90%. Výkon laseru je prozatím 20 kW nicméně firma Foro uvádí, že se brzy dočkáme komerčního využití i laserů o výkonu mnohem vyšším. Pro běžné použití je tato technologie finančně nerentabilní. Zatím její využití přichází v úvahu pro perforaci vrtné výstroje ve vrtech na ropu a zemní plyn. Pro hydrogeologii je využití v blízké době nepravděpodobné. [23, 24]

6.7.3 Tryskové vrtání

Existují dva základní způsoby vrtání, které využívají vysokotlakého vodního paprsku. [9]

Prvním typem je tryskové vrtání s příklepem. Jedná se o rotační příklepné vrtání, kde voda pod vysokým tlakem prochází otvory ve vrtném nástroji a pomáhá aktivně rozrušovat horninu, která je pak vrtným nástrojem snáze odvrátávána. Používá se běžně pro vrtání ve zvodněných pískách, konsolidovaných a částečně konsolidovaných nepříliš tvrdých horninách. [9]

Ve druhém typu je rozrušování horniny prováděno výhradně vysokotlakým vodním paprskem. Používá se v písčitých formacích, ve kterých síla vodního paprsku postačuje k rozrušení horniny. Není tedy potřeba žádných dalších vrtných nástrojů. [9]

Další potencionální možností využití vrtání vodním paprskem je nově vyvinutá metoda pulzujícího vodního paprsku. Při dopadu vodního paprsku na pevný povrch dochází ke vzniku impaktního tlaku, kterým je materiál porušován. Při pulzaci vodního paprsku se impaktní tlak cyklicky opakuje a tím se materiál rychleji rozrušuje. Pulzace jsou generovány akustickými budiči. Využití je pravděpodobné zejména ve strojírenství a medicíně a s dalším vývojem se budeme moci snad dočkat i využití v geologii. [25]

6.7.4 Plazmové vrtání

Plazmové vrtání pro vrtání hlubokých vrtů je zatím ve stadiu vývoje. Základem je generování vysokonapěťových pulsů mezi elektrodami několikrát za sekundu. Tyto pulzy vytvářejí plazmové kanály, které pronikají horninou a rozrušují ji na menší fragmenty. Vrtání takto narušené horniny je snazší. Vývoj této technologie je určen především pro vrtání průzkumných vrtů na ropu a zemní plyn. [26, 27]

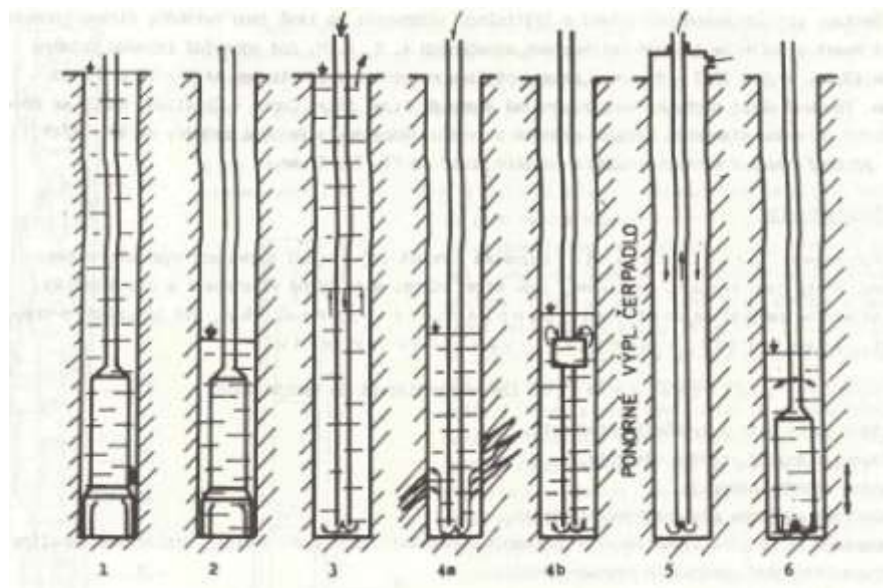
7 VRTNÝ VÝPLACH

Správně navržený vrtný výplach je jednou ze základních podmínek pro úspěšné provedení vrtných prací. Volba vrtného výplachu se odvíjí od geologie daného území, vybavenosti vrtné posádky potřebnou technologií a nářadím, možnosti zásobení vodou a v neposlední řadě také zkušeností vrtné posádky. Prakticky veškerý vývoj vrtných výplachů se nejprve odehrál v naftovém průmyslu a teprve poté byly poznatky aplikovány v hydrogeologii. Dnes je situace mnohdy opačná. Výzkum vrtného výplachu představuje samostatnou vědní disciplínu zaměřující se na fyzikálně chemické složení výplachu, typy aditiv pro jejich přípravu a úpravu, způsob aplikace a vliv na dané prostředí, ale i na poplachovou hydrauliku. [28, 17, 18]

Podle hydrauliky proplachu lze výplach rozdělit do několika základních kategorií. Rozhodující je míra naplnění vrtu výplachem, zda výplach cirkuluje úplně, částečně, nebo vůbec a směr cirkulace. [17,13]

Podle směru proudění se výplachy dělí na přímé a nepřímé (viz obr. 18). Přímý výplach proudí z nádrže přes vrtné tyče na dno vrtu a vystupuje mezikružím vrtné kolony zpět na povrch. Nepřímý výplach naopak na dno vrtu sestupuje mezikružím a na povrch se dostává prouděním přes vrtné tyče. Nepřímý výplach se používá u vrtů s velkým průměrem díky své lepší vynášecí schopnosti. [2, 17]

Obr. 18: Druhy výplachu [17]



- 1) Vrtání v „mrtvé vodě“
- 2) Vrtání „nasucho“
- 3) Přímý výplach s uzavřeným oběhem
- 4) a) přímý výplach s otevřeným oběhem b) přímý výplach se zkráceným oběhem
- 5) nepřímý výplach s uzavřeným oběhem
- 6) nepřímý výplach se zkráceným oběhem

7.1 Funkce vrtného výplachu

Vrtný výplach je kombinací kapalně a pevné složky. Měl by co nejvíce zvýšit efektivitu vrtání a má několik důležitých funkcí. [3]

Mezi jeho základní funkce patří zpevnění stěn vrtu v průběhu vrtání a jejich stabilizace při vyjmutí vrtné kolony. [28]

Důležitě je chlazení a mazání vrtného nástroje. Pokud nebudeme chladit vrtný nástroj, tak může velmi rychle dojít k jeho zničení. S rostoucím podílem pevné frakce chladicí účinek klesá. [3]

Výplach snižuje tření vrtné kolony o stěnu vrtu a tím snižuje riziko přilnutí vrtné kolony ke stěně vrtu, což bývá spojeno s havárií. [28]

Aby mohly vrtné práce co nejrychleji a nejefektivněji postupovat, je nutné, aby výplach vynášel vrtnou drť z čelby vrtu a zároveň očišťoval vrtný nástroj. Zejména u vrtů s velkým průměrem je množství rozvrtaného materiálu značné. Množství vynesného materiálu je dáno rozdílem unášecí rychlosti a rychlostí sedimentace. [3]

Při pauze ve vrtném procesu a přerušení cirkulace výplachu je rozhodující thixotropie výplachu, což je schopnost koloidního roztoku přeházet ze stavu tekutého do stavu gelovitého a opačně pouze mechanickým působením. To nám zajistí, že kal nebude při přerušení vrtného procesu sedimentovat. [17,28]

Některé jíly jsou schopny nasávat velké množství vody a tím zvětšují svůj objem. Použitím zejména jílovitého výplachu se na stěnách vrtu vytvoří tenká nepropustná vrstvička, zabráňující průsaku vody přes stěnu. Tato vrstvička utěsní póry vzniklé při vrtání, ovšem pokud bude výplach obsahovat větší částice, může se stát, že ve zúženém profilu se vytvoří silná jílovitá vrstva, jejíž odstranění je komplikované. [3,18]

Tlak výplachu ve vrtu je důležitý k udržení stability stěn, zejména v horninách jako jsou písky a šterky. „Vrtný výplach svým hydrostatickým tlakem kompenzuje tlak kapalných i plyných medií, obsažených v pórech provrtávaných hornin.“[28, str. 3] Pokud je tlak kapalných nebo plyných medií vyšší než hydrostatický tlak výplachu, pak je žádoucí použít výplach o vyšší měrné hmotnosti. Tyto problémy mohou nastat například v propojených artézských horizontech. [3, 28]

7.2 Typy vrtných výplachů

Rozdělujeme dva základní typy hydrogeologických vrtných výplachů podle báze, na které jsou založeny. Jedná se o výplachy na vodní a vzduchové bázi. Výplachy na olejové bázi se v hydrogeologii většinou nepoužívají vzhledem k nesplnění hygienických požadavků. [18]

7.2.1 Výplachy na vodní bázi

Tyto výplachy jsou složeny z kapalné fáze, koloidní fáze a drti. Základem kapalné fáze je sladká nebo slaná voda, do které jsou dle potřeb přidávány další přísady, jako je jíl, polymery, povrchově aktivní látky (surfaktanty), vápno, sádra a další. Obecně se používají v nekonsolidovaných zeminách. [18, 28]

7.2.1.1 Výplach čistou vodou

Někdy se jako výplach používá pouze čistá sladká voda. Výhodou takového výplachu je malá toxicita, minimální kolmatace stěn vrtu a finanční úspora. Nevýhodou je omezená mazací schopnost, ztráty v porézním prostředí a zhoršení stability při vrtání v nezpevněných horninách. Hodí se tedy hlavně pro vrtání v soudržných horninách. [28]

7.2.1.2 Jílovitý výplach

Jílovitý výplach lze rozdělit do dvou typů. Prvním je ten, kdy se čistá voda ve vrtu při průchodu jílovitými vrstvami samovolně smíchá s jílovitou drtí. Tento výplach je často chybně označován jako výplach čistou vodou, nicméně správné označení je přirozený jílovitý výplach. [18]

Ve druhém typu je dovezený jíl míchán s vodou ve speciálních nádržích na povrchu. Teprve poté je již jako hotová jílovitá směs vháněn do vrtu. Nejčastěji se k přípravě výplachu používá bentonit, což je jílovitá hornina obsahující montmorillonit, který ze všech jílovitých minerálů nejvíce bobtná. [14, 28]

7.2.1.3 Aerovaný jílovitý výplach

V tomto případě je do jílovité výplachové směsi injektován vzduch, čímž dochází ke snižování měrné hmotnosti výplachu. Tento typ výplachu se používá pro vrtání za podmínek, kdy dochází ke ztrátě výplachu. [18]

7.2.1.4 Polymerový výplach

Polymery můžeme podle původu rozdělit na přírodní a syntetické. Obecně se jedná o vysokomolekulární látky. Ve výplachu mají funkci regulátorů viskozity, filtrovatelnosti a stabilizují stěny vrtu. U přírodních polymerů často dochází k jejich depolymerizaci, proto je vhodnější používat stabilnější syntetické polymery. [28]

7.2.2 Výplachy na vzduchové bázi

Základem těchto výplachů je vzduch vháněný do vrtu pod vysokým tlakem. Někdy se do vháněného vzduchu ještě vstříkuje voda se surfaktanty, čímž se vytvoří pěna, která má lepší vynášecí a mazací schopnosti než čistý vzduch. Voda dále může být obohacena o příměsi zahušťující pěnu jako je jílové či polymery. [18]

Výhodou vzduchového výplachu je vysoká citlivost na identifikaci přítoků podzemní vody a schopnost vrtat ve velmi propustných či rozpukaných horninách. Používají se v konsolidovaných a částečně konsolidovaných zeminách. [14, 18]

7.3 Odstranění vrtného výplachu

Vrtné výplachy mívají často kolmatační účinek na stěny vrtu. Kolmatace je způsobena buď průnikem filtrátu jílového výplachu, nebo jemnými rozptýlenými částicemi hustých kapalných výplachů. Velký vliv má také doba kontaktu výplachu s horninou a propustnost horniny. Důležité je tedy co nejrychlejší vytvoření nepropustného filmu na stěně vrtu, tak aby výplach dále nepronikal přes tuto vrstvu. Nepropustná vrstva musí být po ukončení vrtných prací odstraněna, aby nekladla odpor při proudění vody do vrtu. Čím mocnější, hustší a lepivější vrstva bude, tím hůře se bude odstraňovat. [18, 6, 28]

K odstraňování kolmatace se používá různých technologií. Příkladem může být snížení měrné hmotnosti výplachu, vyvolání hydrodynamických tlakových rázů pro rozrušení jílovité kůrky, nebo použití chemických rozpouštědel. [6]

Nejméně náchylné na kolmataci jsou propustné kolektorské horniny, které díky poměrně silnému přítoku vody do vrtu pomáhají aktivně proniklý výplach odstraňovat. [28]

8 PREVENCE PŘED KONTAMINACÍ

Při vrtání vždy existuje riziko kontaminace podzemní vody, nicméně mělké akvifery obsahují velké množství mikrobiálních organismů a bakterie uměle zanesené při vrtném procesu tak mají jen malý význam. Přesto je nutné důsledným očišťováním vrtných nástrojů kontaminaci předcházet. Je nutné dbát na čistotu vrtných nástrojů před i během vrtání. Zejména je nutné, aby nástroje nebyly znečištěny olejem a ostatními ropnými produkty. [29]

Při vrtání pro účely monitoringu se často jako desinfekce vrtných nástrojů používá chlor, který ale může ovlivnit data z monitoringu. Proto se nejčastěji jako desinfekce používá pára, která sice není tak účinná jako chlor, nicméně s jejím použitím nejsou spojeny žádné další nevýhody. [29]

Po vyhotovení vrtu je nutné okolí ústí vrtu utěsnit tak, aby se nemohla infiltrovat povrchová srážková voda. Tato voda může vlivem splachu z okolí obsahovat různorodé kontaminanty, které by se mohly dostat až do podzemní vody. Je nutné udržovat okolí vrtu v čistotě, abychom předešli problémům s případnou kontaminací. [30]

9 ÚDAJE ZÍSKÁVANÉ Z VRTŮ

Při vyhotovení vrtu je dobré získat co nejvíce informací pomáhajících vytvořit celkovou představu o hydrogeologii daného území. Základem je získání informací o geologických a hydrodynamických poměrech či fyzikálně chemických vlastnostech hornin a podzemní vody. [2]

9.1 Získání horninových vzorků

Nejkvalitnější vzorky pochází z jádrového vrtání. Při takovém způsobu vrtání jsou vzorky mnohdy velmi málo porušené a zachovávají si původní strukturu a vlhkost. [14]

Pokud se nevrta na jádro, jsou horninové vzorky porušené. Tyto vzorky již nemají přírodní strukturu ani obsah vody. Je nutné shromažďovat získané vzorky horninové drti a vrtného kalu pro bližší petrografickou a chemickou analýzu. [15, 14]

9.2 Měření hladiny podzemní vody

Patří k základním hydrogeologickým měřením. Výška hladiny podzemní vody se stanovuje podle různých typů hladinoměrů v závislosti na měřicích podmínkách. Rozlišujeme dva základní typy hladinoměrů, a to hladinoměry pro jednorázové použití a pro průběžné měření. Jednorázové hladinoměry změří aktuální výšku hladiny a pro další měření se musí znovu nastavit. Při průběžném měření hladinoměr odečítá odchylky od nastavené výchozí hodnoty. Nejjednodušším zařízením je Rangova píšťala, což je kovová trubka, ze které při ponoření do vody uniká vzduch a vydává tón. Dnes používané hladinoměry pracují hlavně na principu uzavření elektrického

obvodu po ponoření do vody, nebo využívají změny tlaku vodního sloupce nad měřicím čidlem v důsledku pohybu hladiny měřené vody. [2,13]

9.3 Fyzikální vyšetřování vody

Mezi základní vyšetřované fyzikální parametry vody patří teplota, barva, zákal a zápach. [20]

9.3.1 Měření teploty

Teplota vody je jedním ze základních měřených parametrů. Stanovuje se ihned po odebrání vzorku. Teplota vody přímo ovlivňuje její jakost a chuť. Podle vyhlášky pro pitnou vodu je doporučená teplota vody 8 až 12 °C. Teplota vody má také vliv na projev případných pachutí. Čím vyšší teplota vody, tím je pachutí zřetelnější. [20,31]

9.3.2 Stanovení barvy a zákalu

Zákal vody je nutné stanovit ihned po odebrání vzorku, jelikož je tvořen jemně suspendovanými anorganickými částicemi, které mají tendenci sedimentovat u dna. Ve vyhlášce pro pitnou vodu je jako mezní hodnota uvedena 5 ZF. [20, 19,31]

Na rozdíl od zákalu je barva vody způsobena rozpuštěnými látkami. Podzemní vody zpravidla výrazně zabarveny nebývají. Žluté nebo hnědé zbarvení může podzemní voda získat, pokud do ní přitéká voda infiltrovaná v rašelinném území. Ve vyhlášce pro pitnou vodu je jako mezní hodnota koncentrace barvotvorné látky uvedena hodnota 20 mg/l. [20,19,31]

9.3.3 Zápach vody

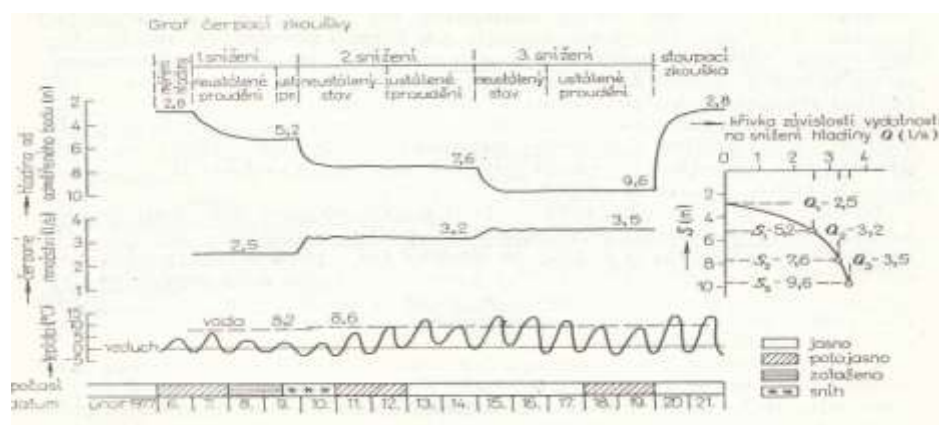
Zápach vody lze určit již při odebrání vzorku a může být předběžným ukazatelem kvality vody. Stejně příčiny mohou ovlivnit jak zápach, tak chuť

vody. Rozeznávají se různé typy zápachu, např. hnilobný, sirovodíkový apod. Podle vyhlášky pro pitnou vodu musí mít voda přijatelný zápach pro odběratele. [20,19,31]

9.4 Čerpací zkouška

Čerpací zkouška (viz obr. 19) je jednou z hydrodynamických zkoušek. Hydrodynamické zkoušky se dělí na přítokové a odtokové. Mezi přítokové zkoušky patří právě zkouška čerpací, dále zkoušky stoupací a přelivné. Součástí odtokových zkoušek jsou zkoušky vsakovací, nalévací a injekční. Naprostou většinu zkoušek prováděných ve vrtech tvoří zkoušky čerpací. [13]

Obr. 19: Příklad záznamu čerpací zkoušky [4]



Po vyhotovení studně se často provádí čerpací zkouška. Pokud má vrt sloužit jako jímací zařízení, pak by se měla čerpací zkouška provádět vždy. Pro monitorovací a průzkumný vrt není čerpací zkouška nezbytná, nicméně je dobré ji provést podle účelu vrtu pro ověření hydrogeologických poměrů a stanovení hydraulických parametrů. [30]

Čerpací zkouška představuje kontinuální čerpání vody z vrtu. Ověřujeme tak specifickou vydatnost vrtu, tedy množství, které můžeme z vrtu dlouhodobě odčerpávat. Specifická vydatnost je počítána z čerpaného množství vody za minutu a snížení hladiny během této doby. Dále nás zajímá stoupání

hladiny po ukončení zkoušky, poloměr dosahu depresního kužele, hydraulická vodivost, transmisivita a storativita. [30, 2, 4]

Čerpací zkoušky dělíme podle doby jejich trvání na ověřovací, krátkodobé, dlouhodobé a poloprovozní. [4]

Ověřovací čerpací zkoušky trvají do 24 hodin a provádějí se jen v průzkumných vrtech. Ze získaných informací se rozhoduje o dalším postupu prací. [2, 4]

Krátkodobé čerpací zkoušky trvají 1 až 3 dny. Jejich hlavním úkolem je určit hydraulické parametry prostředí a prověřit funkčnost objektu. [2, 4]

Dlouhodobé čerpací zkoušky obvykle trvají v rozmezí 4 až 21 dní. Provádějí se na ukončených jímácích a průzkumných objektech. Ověřují se hydraulické parametry prostředí, provázanost sousedních objektů a využitelná vydatnost. [2, 4]

Poslední skupinou jsou poloprovozní čerpací zkoušky, které mohou trvat i déle než 22 dní. Hlavním úkolem je v tomto případě ověření dlouhodobé vydatnosti vodního zdroje při určitém snížení. [2, 4]

10 DISKUSE A ZÁVĚR

Tato práce zpracovává rešeršní formou základní přehled vrtných technologií, ukazuje jejich limity, výhody a nevýhody. Praktické využití může najít u všech, kdo potřebují získat přehled o vrtných technologiích v hydrogeologii a dalších pracích s tím souvisejících.

Vrtné technologie v hydrogeologickém průmyslu prošly dlouhým vývojem s bohatou historií. Dnes je spektrum používaných technologií velmi pestré. Vždy je v zájmu hydrogeologa, aby byla použita co nejvhodnější technologie s ohledem na potřebná získávaná data. V dnešní době je mnohdy bohužel nejdůležitějším aspektem finanční limit. Z finančního hlediska nejsou možnosti hydrogeologů tak rozmanité jako např. možnosti „naftařů“, kterým se meze víceméně nekladou. Nicméně pokrok a vývoj vrtných technologií v ropném průmyslu může z pohledu do budoucnosti přinést benefity i pro hydrogeologický průzkum díky snížení pořizovací ceny tak, že začíná být dostupná i pro ostatní obory využívající vrtnou techniku.

Pro účely hydrogeologických průzkumných vrtů se používá všech dostupných technologií, které nám umožní získat požadované informace. Důležitý je zejména odběr horninových vzorků i vzorků podzemní vody.

Velmi hojně používanou vrtnou technologií je rotační vrtání. Tento způsob vrtání umožňuje dosahovat velkých hloubek v poměrně krátkém čase. Pro hydrogeologické průzkumné vrty se velmi často používá rotační jádrové vrtání umožňující odběr velmi kvalitních horninových vzorků a jejich přesné litologické zařazení. Nejvhodnější je rotační jádrové vrtání v celistvých a neporušených horninách, po aplikaci cementu lze ovšem takto vrtat i v nezpevněných formacích. Nejlepší jádro je získáváno při vrtání diamantovými korunkami, ovšem nejčastěji se používají korunky tvrdokovové. Pokud je potřeba odebrat neporušené vzorky z mechanicky méně odolných hornin, používá se dvojité jádrové chránící jádro před rozplavením kapalnou fází. Jádrové vrtání šrotovými korunkami se pro hydrogeologii nepoužívá, protože šrot ovlivňuje proudění vody do vrtu a pokud se vrtá malými průměry,

může porušit i samotné jádro. Tento způsob vrtání bude pravděpodobně i do budoucna nejpoužívanější technologií díky své univerzálnosti využití, kvalitě získaných dat a finanční dostupnosti.

Rotační vrtání nemusí znamenat jen vrtání na jádro, ale také na plnou čelbu. Výhodou této metody je schopnost dosahovat téměř neomezených hloubek z hlediska hydrogeologických potřeb a zaručuje rychlý postup vrtných prací. Hlavní nevýhodou je omezený průměr vrtu a nekvalitní horninové vzorky. Pro horizonty s velkou ztrátou výplachu je možné použít dvoustěnné rotační vrtání na plnou čelbu.

Nejpoužívanější metodou vrtání v hydrogeologii je rotačně příklepové vrtání, jehož výhodou je snadná identifikace přítoků vody do vrtu, nízká kolmataci stěn vrtu a možnost vrtat do velkých hloubek. Nevýhodou jsou silně porušené horninové vzorky.

Jako nejdostupnější a zároveň nejstarší technologie se používá nárazové vrtání. Tyto soupravy jsou levné, mají nízkou energetickou náročnost a snadnou údržbu. Soupravy nejsou příliš rozměrné a mohou pracovat v těžko přístupném terénu. Většinou se vrtá bez výplachu a hodí se proto do oblastí, kde by mohlo docházet k jeho ztrátě. Vydatnost a přítoky do vrtu lze určit v každé hloubce. Hlavní nevýhodou je pomalé tempo vrtání a velká porušenost horninových vzorků. Přesto se s touto metodou lze ještě poměrně často setkat a pravděpodobně tomu tak bude i nadále.

Pro monitorovací hydrogeologické vrty v nezpevněných, či lehce zpevněných horninách je vhodnou metodou vibrační vrtání, kdy dochází rovnou k zavibrovaní výstroje. Nevýhodou je možnost použití do poměrně malých hloubek, ve větších hloubkách ztrácí vibrace efektivitu a postup se velmi zpomalí.

Další levnou a tudíž poměrně využívanou metodou je náběrové vrtání umožňující vrtat bez výplachu i velké průměry. Nástroje se snadno udržují a jsou finančně dostupné. Nevýhodou při průzkumném vrtání je promíchanost horninových vzorků a nemožnost vrtat v tvrdých horninách. Ideální je hlavně pro zeminy.

Z kategorie moderních vrtných technologií se některé v různých oborech již poměrně běžně používají, např. tryskové a ultrazvukové vrtání. Nejvíce se moderní technologie používají pro ropné vrty, pro hydrogeologické účely je jejich použití finančně nedosažitelné. Laserové a plasmové vrtání mají velký potenciál pro použití ve velmi tvrdých horninách, jejich vývoj ale ještě není dokončen a v hydrogeologii se tak s nimi nejspíš v brzké době nesetkáme. Pravděpodobně velký potenciál do budoucna může mít využití pulzujícího vodního paprsku pro nepříliš tvrdé horniny.

Cíl práce vytvořit přehled vrtných technologií používaných pro hydrogeologický průzkum byl splněn. Práce je doplněna o další užitečná data související s vrtným a průzkumným procesem.

11 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A PRAMENŮ

- [1] ČSN 750110. *Vodní hospodářství - Terminologie hydrologie a hydrogeologie*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [2] BETUŠ, Zvonimír a Ján PINKA. *Hydrogeologické vrty*. Košice: Štroffek, 1998, 223 s. ISBN 80-88896-27-4.
- [3] *Handbook of Ground Water Development*. New York: J. Wiley, 1990, xiv, 493 s. ISBN 04-718-5611-8.
- [4] JEDLIČKA, Miroslav a Josef KOŽÍŠEK. *Provozně geologická příručka*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981, 397 s.
- [5] [Http://geologie.vsb.cz/](http://geologie.vsb.cz/): technika a technologie hlubinného vrtání. [online]. [cit. 2014-07-30]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtyHydrogeologicke.html>
- [6] ZEMAN, Vojtěch, Dalibor KALUS a Josef MAZÁČ. *Vrtání na vodu a jímání podzemních vod*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1985, 216 s.
- [7] PRAŽSKÝ, Jeroným. *Průzkumný vrt*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1964, 287 s.
- [8] ĎURICA, Dušan a Miloš SUK. *Vrty v geologické praxi*. Brno: Moravské zemské muzeum, 2011, 176 s. ISBN 978-807-0283-813.
- [9] DRISCOLL, Fletcher G. *Groundwater and wells*. 2.vyd. St. Paul, Minn.: Johnson Division, 1995, xv, 1089 s. ISBN 09-616-4560-1.
- [10] HAMILTON, James D. *Historical oil shocks*. 2011.
- [11] JEFFERY, Walter H. *Deep well drilling*. 1925.
- [12] KUKKONEN, Ilmo T.; CLAUSER, Christoph. Simulation of heat transfer at the Kola deep-hole site: implications for advection, heat refraction and palaeoclimatic effects. *Geophysical Journal International*, 1994, 116.2: 409-420.
- [13] DATEL, Josef Vojtěch. *Metody HG průzkumu*. [přednáška]. Praha: Přf UK, 2012

- [14] SARGA, Karel a Vladimír LETKO. *Technika průzkumných prací*. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983, 114 s.
- [15] TKANY, Zdeněk, Josef BRYCH a Oldřich JURÁNEK. *Hlubinné jádrové vrtání diamantovými korunkami*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1966, 255 s.
- [16] JURMAN, Josef. *Vrtací a nakládací stroje*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1984, 296 s.
- [17] MAZÁČ, Josef. *Hlubinné vrtání*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1991, 155 s.
- [18] STERRETT, Robert J. *Groundwater and wells*. 3. Vyd. New Brighton, MN: Johnson Screens, 2007, xvi, 812 s. ISBN 09-787-7930-4.
- [19] PODHORSKÝ, Jiří. *Jímání a úprava vody*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1963, 258 s.
- [20] PŠTROSS, Miloš a Čeněk PŠTROSS. *Domovní a vodárenské studny*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1971, 303 s.
- [21] ULTRATECH, s.r.o. *www.Ultratech.cz: Ultrazvukové aplikace* [online]. 2008 [cit. 2014-07-28]. Dostupné z: <http://www.ultratech.cz/ultrazvukove-aplikace/>
- [22] NEUGEBAUER, Reimund; STOLL, Andrea. Ultrasonic application in drilling. *Journal of materials processing technology*, 2004, 149.1: 633-639.
- [23] HECHT, Jeff. Laser drills could relight geothermal energy dreams. *New Scientist*, [online] 2012 [cit. 2014-08-03], 216.2895: Dostupné z: http://www.newscientist.com/article/mg21628955.900-laser-drills-could-relight-geothermal-energy-dreams.html#.U9aFufl_skl
- [24] HECHT, Jeff. High-power lasers: Fiber lasers drill for oil. *Laser Focus World*, [online] 2012 [cit. 2014-08-03], Dostupné z: <http://www.laserfocusworld.com/articles/print/volume-48/issue-12/world-news/high-power-lasers-fiber-lasers-drill-for-oil.html>
- [25] FOLDYNA, Josef. Use of Acoustic Waves for Pulsating Water Jet Generation. *Target*, 2: c2.

[26] MACGREGOR, Scott John; TURNBULL, Steven McCallum. Plasma channel drilling process. 2007.

[27] [Http:// offshore-mag.com/Drilling technology: Plasma-channel process used to drill 1-2 in. Micro-boreholes](http://offshore-mag.com/Drilling%20technology%20Plasma-channel%20process%20used%20to%20drill%201-2%20in.%20Micro-boreholes). [online]. [cit. 2014-08-01]. Dostupné z: <http://www.offshore-mag.com/articles/print/volume-61/issue-12/news/drilling-technology-plasma-channel-process-used-to-drill-1-2-in-micro-boreholes.html>

[28] ZEMAN, Vojtěch a Josef PŘIKRYL. *Hlubinné vrtání*. Ostrava: Vysoká škola báňská, 1984, 202 s.

[29] SMITH, Stuart A a Allen E COMESKY. *Sustainable wells: maintenance, problem prevention, and rehabilitation*. Boca Raton: CRC Press, 2010, xxix, 296 s. ISBN 08-493-7576-2.

[30] MANSUY, Neil. *Water well rehabilitation: a practical guide to understanding well problems and solutions*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999, 174 s. ISBN 15-667-0387-5.

[31] Vyhláška 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. *Sbírka zákonů*. Č. 82. s. 5402.

